

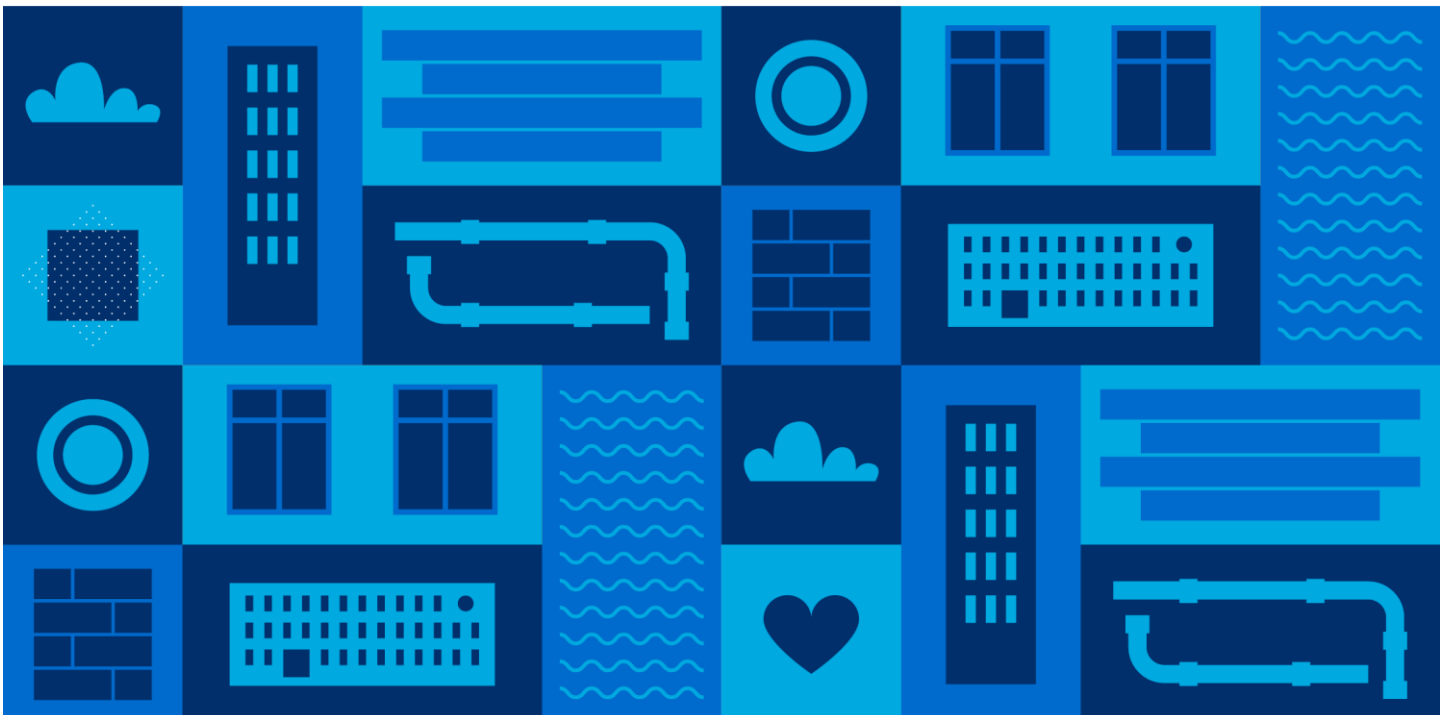


**TERVEET
TILAT** 2028

Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille

Lämpö

Rafnet 2020 -oppimateriaalin teoriaosan osio L (Lämpö)



Terveet tilat 2028 -ohjelma
Ympäristöministeriö

Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille

Lämpö

Rafnet 2020 -oppimateriaalin teoriaosan osio L (Lämpö)

LAB-
ammattikorkeakoulu

Oulun
ammattikorkeakoulu

Lapin
ammattikorkeakoulu

Karelia
ammattikorkeakoulu

Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Savonia
ammattikorkeakoulu

Jyväskylän
ammattikorkeakoulu

Hämeen
ammattikorkeakoulu

ALKUSANAT

Tämä oppimateriaali on osa rakennusfysiikan oppimateriaali insinöörikoulutuksen tarpeisiin-hankkeen (RAFNET 2020) tuottamaa rakennusfysiikan oppimateriaalia, joka on suunnattu lähinnä ammattikorkeakoulujen rakennusinsinööriopiskelijoille ja jo alalla toimiville rakennusinsinööreille. Tavoitteena on antaa pohja rakenteiden rakennusfysikaaliseen suunnitteluun ja toimivaan rakenteiden toteutukseen. Oppimateriaalia voidaan käyttää soveltuvien osien myös rakennusmestari- ja rakennusarkkitehtikoulutuksen rakennusfysiikan opinnoissa.

RAFNET-oppimateriaali koostuu kirjallisesta teoriaosasta ja oheismateriaalista.

Teoriaosa jakautuu viiteen osioon:

V Virtaukset

L Lämpö

K Kosteus

S Sisäilma

M Mittaukset

Teoriaosan osioissa V, L ja K tarkastellaan rakennusfysiikan perusteoriaita rakenteiden ja eri rakenneosien rakennusfysikaalisen toiminnan perusteita sekä niihin liittyviä fysiikan perusilmiöitä lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun näkökulmasta. Apuna käytetään runsaasti kuvia ja laskentaesimerkkejä. Sisäilma-osiossa annetaan perustieto rakennuksen sisäilmaan vaikuttavista tekijöistä ja sisäilmaston laatukriteereistä. Mittausosiossa tarkastellaan lämpöön ja kosteuteen sekä ilmavirtauksiin liittyviä mittauksia. Oppimateriaalin sisältö ja vaatimustaso on suunniteltu vastaamaan vaativan luokan mukaista insinööriopintojen rakennusfysiikan perusjakson vaatimuksia (5 op).

Vaadittava kokonaislaajuus saavutetaan teoriaosaan ja siihen liittyvään oheismateriaaliin pohjautuvilla harjoitustehtävillä ja tätä oppimateriaalia täydentävillä oppimateriaaleilla, jotka käsittelevät rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa, rakennusten kosteudenhallintaa hankkeen eri vaiheissa sekä äänitekniikan perusteita. Rakennusfysiikan opintojen osana on käsiteltävä myös Ympäristöministeriön laatimat asetukset

ja ohjeistukset, jotka liittyvät rakennusten energiatehokkuuteen, rakennusten kosteustekniseen toimivuuteen ja rakennusten ääniympäristöön.

RAFNET 2020 -materiaali on laadittu siten, että sitä voi käyttää myös verkkopohjaisten rakennusfysiikan kurssien ja opintojaksojen oppimateriaalina. Sitä voidaan soveltaa myös rakennusfysiikan täydennyskoulutuksessa. RAFNET-materiaali ei ole varsinainen suunnitteluohje eikä määräyskokoelma. Se pyrkii auttamaan opiskelijaa ymmärtämään rakennusfysiikkaa ja soveltamaan sitä rakennusfysikaalisessa suunnittelussa ja rakenteiden toteutuksessa hyödyntäen Suomessa käytössä olevia rakennusfysiikkaan liittyviä asetuksia ja ohjeita.

Alkuperäisen lämpöosion materiaalin on kirjoittanut Heikki Ylihärtilä. Timo Lehtoviita sekä Sanna Alitalo ovat tuottaneet osion lopussa esitetyt laskentaesimerkit. Sanna Alitalo on päivittänyt tekstin vuonna 2020 ja jokainen käyttäjä saa muokata materiaalista oman näköisensä, kunhan säilyttää tekstissään tämän ensimmäisen kappaleen sisältämän tiedon alkuperäisestä tekstilähteestä.

RAFNET 2020 -materiaali on tuotettu yhteishankkeena usean eri ammattikorkeakoulun kanssa. Hankkeeseen ovat osallistuneet LAB-ammattikorkeakoulu, Savonia-ammattikorkeakoulu, Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Karelia ammattikorkeakoulu, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Oulun ammattikorkeakoulu, Lapin ammattikorkeakoulu ja Hämeen ammattikorkeakoulu. Hankkeen rahoittajana hankeosallistujien lisäksi on toiminut Ympäristöministeriö. Hanke on osa Terveet tilat 2028 -ohjelmaa.

Tekijät

Sisällys

L.1	Johdanto	7
L.2	Lämmön siirtymismuodot.....	8
L.2.1	Johtuminen, conduction	8
L.2.2	Säteily, radiation.....	8
L.2.3	Konvektio, convection	9
L.3	U_C-arvon laskeminen	10
L.3.1	Lämmönjohtavuus λ	10
L.3.2	λ_D -arvon muuttaminen suunnitteluarvoksi λ	11
L.3.3	λ -arvon riippuminen lämpötilasta ja kosteudesta.....	13
L.3.4	Lämmönvastuksen määrittäminen	14
L.3.5	Pintavastukset.....	14
L.3.6	Ilmakerrosten lämmönvastus	14
L.3.7	Kokonaislämmönvastuksen R_T laskeminen	16
L.3.8	Lämmönläpäisykertoimen U laskeminen.....	16
L.3.9	Korjatun lämmönläpäisykertoimen U _C laskeminen	28
L.3.10	Eristekerroksen luonnollinen konvektio	29
L.4	Maanvastaiset rakenteet	30
L.5	Ikkunan, oven ja tuuletusluukun U-arvo.....	31
L.6	Rakennusosien väliset liitokset	32
L.7	Rakennuksen lämpöhäviöt	35
L.7.1	Rakennuksen vaipan lämpöhäviö	35
L.7.2	Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviö.....	37
L.7.3	Rakennuksen ilmanvaihdon lämpöhäviö.....	38
L.7.4	Tasauslaskenta	39
L.8	Energiatehokkuus	42
L.8.1	E-luku	42
L.8.2	Energiatodistus	43

L.9 Laskutehtävät	45
Lähteet.....	64

L.1 Johdanto

Materiaalissa esitellään lämpöenergiaan liittyviä peruskäsitteitä ja laskentamenetelmiä energiatehokkuuden osoittamiseen. Tavoitteena on antaa pohja rakenteiden rakennusfysikaaliseen suunnitteluun ja toimivaan rakenteiden toteutukseen.

Suomessa on selkeät lämpötilavaihtelut vuodenaikojen välillä. Myös saman vuoden ajan sisällä lämpötilojen vaihtelu on suurta. Lämpötilaan vaikuttaa ensisijaisesti auringsäteily, mutta myös monet paikalliset tekijät, kuten maanpinnan peitteen laatu, esimerkiksi lumi, ruoho tai hiekka, maaston muodot ja vesistöt, vaikuttavat alueen lämpötilaan. Kylmät tai lämpimät ilmavirtaukset aiheuttavat lisäksi lämpötilaan satunnaisia muutoksia, jotka varsinkin talvella saattavat olla suuria.

Lämpöolot vaikuttavat rakentamiseen. Asuin-, liike- ja julkiset rakennukset on lämmöneristettävä. Rakennusten perustusten routasuojaustarpeen määrää mm. alueen suurin havaittu pakkasmäärä. Rakenteiden suunnittelussa ja mitoituksessa on muistettava lämpötilavaihteluista aiheutuvat rakennustarvikkeiden erilaiset lämpöliikkeet. Rakentamisen aikataulua suunniteltaessa otetaan huomioon myös vuodenajan lämpötilan aiheuttamat vaikutukset työn suoritukseen.

Rakentamista säännellään säädöksillä ja määräyksillä. Tavoitteena on esimerkiksi rakentamisen hyvä laatu ja energiatehokkuus. **Maankäyttö- ja rakennuslaissa** (132/1999) säädetään alueiden ja rakennusten suunnittelusta, rakentamisesta ja käytöstä:

”Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että energiaa ja luonnonvaroja kuluu säästeliäästi.

Uusi rakennus, joka koostuu katetusta seinällisestä rakenteesta ja jossa käytetään energiaa tilojen tarkoituksenmukaisten sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi, on suunniteltava ja rakennettava lähes nollaenergiarakennukseksi.

Energiatehokkuuden vähimmäisvaatimusten täytyminen on osoitettava laskelmilla.”

Ympäristöministeriö ylläpitää **Suomen rakentamismääräyskokoelmaa**, johon kootaan Maankäyttö- ja rakennuslain nojalla annetut rakentamista koskevat säännökset ja rakentamismääräykset sekä ministeriön ohjeet. Sieltä löytyy **Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta** (1010/2017), josta löytyy tarkempia ohjeita laskelmien tekemiseen.

L.2 Lämmön siirtymismuodot

Lämpö voi siirtyä johtumalla, säteilemällä tai konvektiolla.

L.2.1 Johtuminen, conduction

Johtumisessa (konduktiossa) molekyylien liike-energiaa (=lämpöenergiaa) siirtyy molekyylistä toiseen. Lämpö pyrkii tasoittumaan väliaineessa eli virtaamaan lämpimästä kylmemmän päin. Lämmön johtumista esiintyy kiinteissä aineissa ja nesteissä. Tasoittumisnopeus eli lämpövirta voidaan laskea kaavoista 1 ja 2.

$$q_{cd} = \lambda \cdot \frac{T_{s1} - T_{s2}}{d} \quad \text{lämpövirran tiheys yksidimensionaalisessa stationääritilassa, yksikerrosrakente} \quad (1)$$

λ = lämmönjohtavuus [W/(mK)]

d = ainepaksuus [m]

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

$$q_{cd} = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{R_T} \quad \text{lämpövirran tiheys yksidimensionaalisessa stationääritilassa, monikerrosrakente} \quad (2)$$

R_T = kokonaislämmönvastus

L.2.2 Säteily, radiation

Säteilyssä (emissiossa) lämpöenergiaa siirtyy sähkömagneettisena aaltoliikkeenä valon nopeudella.

Kaikki kappaleet, joiden lämpötila on absoluuttisen nollapisteen yläpuolella, lähettävät eli **emittovat** säteilyä. Eniten lämpösäteilyä emittoi musta kappale.

Rakennustekniikassa säteilylämpö esiintyy lyhytaaltoisena auringonsäteilynä ja pitkäaaltoisena kappaleiden säteilemänä lämpönä. Säteilyn aallonpituudella on merkitystä mm. tarkasteltaessa ikkunan lämmönläpäisyä. Ikkunalasi läpäisee hyvin auringon lähettämän lyhytaaltoisen lämpösäteilyn mutta huonosti sisältä ulos pyrkivää pitkäaaltoista säteilyä (kasvihuoneilmiö). Ikkunarakenteissa lämpö siirtyy myös johtumalla ja konvektion avulla.

Emissiivisyydellä (ε) tarkoitetaan pinnan säteilytehon q_r suhdetta mustan pinnan säteilytehoon q_m .

Mustan kappaleen kokonaissäteily on

$$q_m = \sigma \cdot T^4 \quad [W / m^2]$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \quad [\frac{W}{m^2 K^4}] \quad \text{Stefan Boltzmannin säteilyvakio}$$

(3)

Todellisten pintojen säteilyteho Q_s on pienempi kuin mustan pinnan säteilyteho. Rakennusmateriaalien emissiviteetti ε on noin 0,8 – 0,95.

$$q_r = \varepsilon \cdot q_m = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

(4)

L.2.3 Konvektio, convection

Konvektiossa (virtauksessa) lämpö siirtyy kaasun tai nesteen virtauksen mukana.

Konvektio voi olla:

- pakotettua (ilmanvaihto, tuuli yms.)
- luonnollista (esim. paksussa eristetilassa)

Pakotetussa konvektiossa kaasu tai neste liikkuu jonkin ulkopuolisen voiman vaikutuksesta. Luonnollisessa konvektiossa taas lämpötilaerojen aiheuttama tiheysero saa aikaan liikkeen.

Lämpöä siirtyy lisäksi aineen olomuodon muutoksissa (sulamis- ja höyrystymislämpö) lämpötilan muuttumatta. Tätä lämmön muotoa kutsutaan latentiksi eli piileväksi.

L.3 U_c-arvon laskeminen

Lämmönläpäisykerroin U_c kertoo, kuinka paljon pinta-alaltaan neliömetrin kokoisen materiaalin/rakenteen läpi siirtyy lämpöenergiaa sekunnissa, kun lämpötilaero materiaalin/rakenteen molemmin puolin on yhden Celsius-asteen suuruinen

$$\left[\frac{J}{s \cdot m^2 \cdot ^\circ C} = \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} = \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

U_c-arvo lasketaan käyttäen SFS-EN ISO 6946 -standardissa esitettyä lämmönläpäisykertoimen laskentatapaa.

L.3.1 Lämmönjohtavuus λ

Lämmönjohtavuus kertoo materiaalin kyvystä johtaa lämpöä. Metallit johtavat hyvin lämpöä, kun taas mineraalivillan lämmönjohtavuus on pieni.

Materiaalin lämmönjohtavuus määritetään mittaamalla esimerkiksi lämpövirtalevyjen avulla. Mitattavan materiaalin molemmin puolin muodostetaan lämpötilaero. Mitataan lämpötilaero ja materiaalin paksuus. Lämpövirtalevyt kiinnitetään materiaalin molemmin puolin ja niiden avulla saadaan mitattua, paljonko lämpöenergiaa levyn läpi johtuu sekunnissa. Lämmönjohtavuus voidaan laskea kaavan (2) avulla. Lisätietoa lämmönjohtavuuden mittaamisesta löytyy standardista SFS-EN 12667.

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo $\lambda = \lambda_d = \lambda_{design}$ on laskennassa käytettävä lämmönjohtavuuden arvo. Eri materiaaleille näitä löytyy esimerkiksi standardista SFS-EN ISO 10456 tai valmistajien julkaisemista materiaalitiedoista.

Ilmoitettu lämmönjohtavuus $\lambda_D = \lambda_{Declared}$ on materiaalivalmistajan ilmoittama lämmönjohtavuuden arvo ja valmistaja vastaa sen oikeellisuudesta. Ilmoitettu lämmönjohtavuus määritetään EN-tuotestandardien mukaisesti. Yleensä se tarkoittaa 10 °C keskilämpötilassa suoritettuja lämmönjohtavuuden mittauksia ja niiden tilastollista käsittelyä. Ilmoitettua lämmönjohtavuutta $\lambda_{Declared}$ **ei voi suoraan käyttää U_c-arvon laskemisessa**, vaan sen muuntaminen suunnitteluarvoksi on esitetty standardissa SFS-EN ISO 10456.

L.3.2 λ_D -arvon muuttaminen suunnitteluarvoksi λ

Jos materiaalille (yleensä lämmöneristeelle) ei löydy suoraan lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa λ , mutta löytyy valmistajan ilmoittama lämmönjohtavuuden arvo λ_D , ilmoitettua arvoa korjataan SFS-EN ISO 10456 mukaisesti kertomalla se lämpötilan, kosteuden ja vanhenemisen muuntotekijöillä F_T , F_m ja F_a .

$$\lambda = \lambda_{\text{Declared}} \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a \quad (5)$$

F_T =lämpötilan muuntotekijä

F_m =kosteuden muuntotekijä

F_a =vanhenemisen muuntotekijä

Suomessa suunnittelulämpötila on yleensä 10 °C, mikä on sama lämpötila kuin λ_D -arvon määrittelylämpötila. Tällöin lämpötilasta ei aiheudu muunnosta ja $F_T=1$.

Poikkeuksena ovat routaeristeet sekä perusmuurin ulkopuolinen, sisäpuolinen tai sokkelihalkaisussa oleva pystyeristys. Tällöin suunnittelulämpötila on -5 °C ja lämpötilan muuntotekijä saadaan kaavasta

$$F_T = e^{f_T(T_2-T_1)} \quad (6)$$

f_T =lämpötilan muuntokerroin, standardista EN ISO 10456

T_1 =ilmoitetun lämmönjohtavuuden mittauslämpötila, yleensä 10 °C

T_2 =suunnittelulämpötila

Standardista EN ISO 10456 puuttuvat muuntokertoimien arvot (RIL 225-2004 s. 21):

eristetyyppi	$\lambda_{\text{Declared}}$ (W/m°C)	f_T (1/ °C)
puukuitueriste (selluvilla), pellavaeriste, polyesterikuitueriste	0,036	0,0045
	0,038	0,0050
	0,040	0,0055
	0,045	0,0065

Hygroσκοoppisuus on aineen kyky sitoa itseensä ilman vesihöyryä ja luovuttaa sitoutunutta kosteutta takaisin ilmaan (riippuen ilman suhteellisesta kosteudesta), ks. Kosteus-osio K.6.4.

Eristeet jaetaan **lievästi hygroσκοoppisiin** (mineraalivilla, EPS=esipaisutetusta polystyreenistä valmistettu polystyreenilämmöneriste, XPS=suulakepuristus-menetelmällä valmistettu polystyreenilämmöneriste, PUR=polyuretaanilämmöneriste, solulasi, kevytsora, polyesterikuitueriste) ja **hygroσκοoppisiin** (levymäiset ja puhallettavat puukuitueristeet, pellavaeriste) eristeisiin.

Kun **lievästi hygroσκοoppinen** materiaali laitetaan **kuivana pysyvään** rakennosaan, ei kosteusolosuhteesta aiheutu muunnosta λ_D -arvoon eli $F_m=1$.

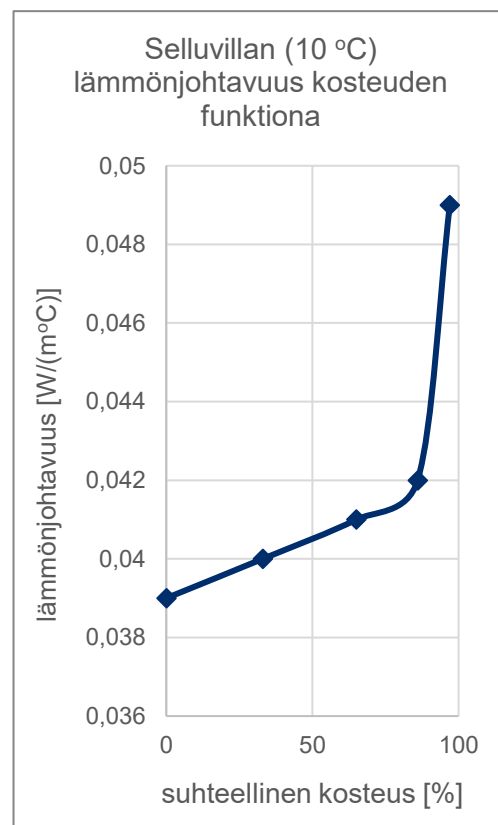
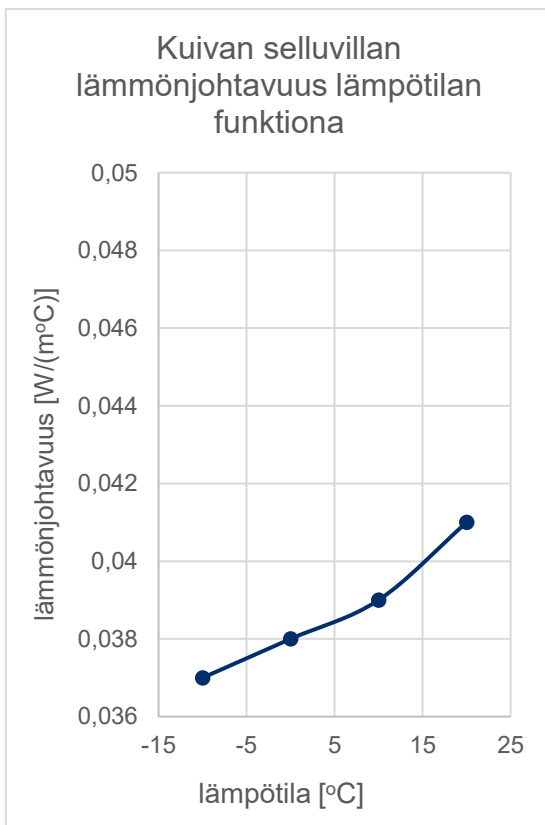
Kun **hygroσκοoppinen** materiaali laitetaan **kuivana pysyvään** rakennosaan, lasketaan kosteusolosuhteesta aiheutuva muuntotekijä F_m tai vaihtoehtoisesti voidaan lisätä hygroσκοoppisuudesta aiheutuva lisä $\Delta\lambda_{\text{hyg}}=0,001 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ λ_D -arvoon.

Kun materiaali laitetaan **kosteaan** rakennosaan (pintavedelle ja maaperän huokosvedelle altistuvat rakenteet sekä käännettyjen kattojen rakenteet), lasketaan kosteusolosuhteesta aiheutuva muuntotekijä F_m (ks. SFS-EN ISO 10456 ja RIL 225-2004 s. 24-28).

Tuotteen vanhenemiseen liittyvät tekijät otetaan tällä hetkellä huomioon jo λ_D -arvoa määritettäessä. Tällöin vanhenemisestä ei aiheudu muunnosta ja $F_a=1$.

L.3.3 λ –arvon riippuminen lämpötilasta ja kosteudesta

U_c -arvoa laskettaessa käytetään lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa λ , joka on mitattu 10 °C lämpötilassa kuivasta materiaalista. Todellisuudessa materiaali on rakenteessa vaihtelevissa lämpö- ja kosteusolosuhteissa. Erityisesti poikkeavia lämpötiloja ja kosteuksia esiintyy, jos rakenne on toteutettu huolimattomasti tai se toimii toisin kuin suunnittelija on ajatellut. Vasemman puoleisesta kuvasta nähdään erään selluvillan ($\lambda_D=0,039 \frac{W}{m \cdot K}$) lämmönjohtavuuden riippuvuus lämpötilasta ja oikean puoleisessa kuvassa on saman villan lämmönjohtavuuden riippuvuus kosteuspitoisuudesta (Vinha ym. 2005). Jos rakenteen toimintaa halutaan tutkia siten, että materiaaliarvoja muutetaan olosuhteiden mukaisiksi, tulee käyttää mallinnusohjelmia.



L.3.4 Lämmönvastuksen määrittäminen

Lämmönvastus R on lämmönjohtavuuden käänteisarvo, jossa myös materiaalikerroksen paksuus d on otettu huomioon

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (7)$$

L.3.5 Pintavastukset

Rakenneosan pinnasta lämpö siirtyy ympäröivään ilmaan säteilemällä ja pinnan lähellä tapahtuvan ilman konvektion avulla. Ulkoilmaan rajoittuvien rakennusosien pintavastukset saadaan standardin SFS-EN ISO 6946 taulukosta.

Surface resistance $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	Direction of heat flow		
	Upwards	Horizontal	Downwards
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

NOTE 1 The surface resistances apply to surfaces in contact with air. No surface resistance applies to surfaces in contact with another material.

NOTE 2 The values for internal surface resistance are calculated for $\varepsilon = 0,9$ and with h_{r0} evaluated at 20 °C. The value for external surface resistance is calculated for $\varepsilon = 0,9$, h_{r0} evaluated at 10 °C, and for $v = 4 \text{ m/s}$.

"Standardien lainaukset on tehty Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n luvalla".

L.3.6 Ilmakerrosten lämmönvastus

Rakenteessa voi olla ilmakerros, joka ei ole yhteydessä sisäpuoliseen tilaan. Nämä ilmakerrokset on jaettu kolmeen ryhmään: tuulettumattomiin, lievästi tuulettuviin ja hyvin tuulettuviin ilmakerroksiin. Ilmakerrosten lämmönvastukset lasketaan standardin SFS-EN ISO 6946 mukaisesti.

1. Tuulettumaton ilmakerros

Ilmakerros on tuulettumaton, jos siitä ulkoilmaan johtavien aukkojen pinta-ala on

- $\leq 500 \text{ mm}^2$ leveysmetriä kohti pystysuorassa rakenteessa
- $\leq 500 \text{ mm}^2$ neliometriä kohti vaakasuorassa rakenteessa

Tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastus saadaan standardin SFS-EN ISO 6946 taulukosta.

2. Lievästi tuulettuva ilmakerros

Ilmakerros on lievästi tuulettuva, jos siitä ulkoilmaan johtavien aukkojen pinta-ala on

- $>500 \text{ mm}^2$ mutta $<1500 \text{ mm}^2$ leveysmetriä kohti pystysuorassa rakenteessa
- $>500 \text{ mm}^2$ mutta $<1500 \text{ mm}^2$ neliometriä kohti vaakasuorassa rakenteessa

Lievästi tuulettuvan ilmakerroksen sisältämän rakenteen kokonaislämmönvastus voidaan laskea standardista SFS-EN ISO 6946 löytyvällä kaavan avulla.

3. Hyvin tuulettuva ilmakerros

Ilmakerros on hyvin tuulettuva, jos siitä ulkoilmaan johtavien aukkojen pinta-ala on

- $\geq 1500 \text{ mm}^2$ leveysmetriä kohti pystysuorassa rakenteessa
- $\geq 1500 \text{ mm}^2$ neliometriä kohti vaakasuorassa rakenteessa

Jos rakenteessa on hyvin tuulettuva ilmakerros, ilmakerrosta ja sen ulkopuolella olevia rakennekerroksia ei oteta huomioon U_C -arvoa laskettaessa. Ulkopinnan pintavastuksena käytetään tällöin sisäpinnan pintavastuksen arvoa.

4. Yläpohjan ilmatila

Edellä olevia ilmakerrosten määräyksiä voidaan soveltaa, jos ilmarako ei ole kovin paksu (alle 10 % rakenteen mitoista muissa kuin lämpövirran suunnassa). Jos ilmaraon paksuus on enemmän kuin 0,3 m, ilmaraon tarkasteluun tulee käyttää standardia SFS-EN ISO 13789. Poikkeuksena ovat tuulettuvat alapohjat, joiden U_C -arvon laskeminen on esitetty standardissa SFS-EN ISO 13370, ja yläpohjan eristeen ja vesikaton väliin jäävät luonnollisesti tuulettuvat ilmatilat, joiden lämmönvastus saadaan standardin SFS-EN ISO 6946 taulukosta.

Characteristics of roof		R_u $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
1	Tiled roof with no felt, boards or similar	0,06
2	Sheeted roof, or tiled roof with felt or boards or similar under the tiles	0,2
3	As 2 (above) but with aluminium cladding or other low emissivity surface at underside of roof	0,3
4	Roof lined with boards and felt	0,3

NOTE The values in this table include the thermal resistance of the ventilated space and the thermal resistance of the (pitched) roof construction. They do not include the external surface resistance, R_{se} .

"Standardien lainaukset on tehty Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n luvalla".

L.3.7 Kokonaislämmönvastuksen R_T laskeminen

Lämpöteknisesti tasa-aineisista (homogeenisista), lämpövirtaan nähden kohtisuoraan olevista tasapaksuista ainekerroksista muodostuvan tasomaisen rakennusosan kokonaislämmönvastus lasketaan kaavasta

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{se} \quad (8)$$

R_{si} = sisäpinnan pintavastus

R_1, R_2, \dots = tasa-aineisen ainekerroksen 1, 2, ... lämmönvastus,

R_{se} = ulkopinnan pintavastus.

L.3.8 Lämmönläpäisykertoimen U laskeminen

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad (9)$$

Esim.

Seinän rakenne on sisältäpäin seuraava: 150 mm betonia, 200 mm mineraalivillaa ja 130 mm tiiltä. Laske seinän U_C -arvo ja lämpötila seinärakenteen eri kohdissa, kun ulkona on -10 °C ja sisällä 21 °C .

$$d[\text{m}] \quad \lambda \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}} \right] \quad R = \frac{d \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}} \right]}{\lambda} \quad \Delta t = \frac{R}{R_{tot}} * (t_s - t_u) [\text{°C}]$$

ulkopinta	-	-	0,04 ⁽³⁾	0,2
tiili	0,13	2,0 ⁽¹⁾	0,065	0,3
villa	0,20	0,033 ⁽²⁾	6,060	29,5
betoni	0,15	2,0 ⁽¹⁾	0,075	0,4
sisäpinta	-	-	0,13 ⁽³⁾	0,6
		$R_{tot} =$	6,370	

⁽¹⁾ SFS-EN ISO 10456 (8.3, s.13)

⁽²⁾ $\lambda_D = 0,033 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}}$ (valmistajan ilmoittama)

$\lambda = \lambda_{declared} * F_r * F_m * F_a = \lambda_D * 1 * 1 * 1 \rightarrow \lambda = \lambda_D$

missä:

F_t = lämpötilan muuntotekijä

λ_D on mitattu 10 °C :ssa, suunnittelulämpötila on 10 °C , $\rightarrow F_t = 1$

F_m = kosteuden muuntotekijä

lievästi hygroskooppinen eriste, kuivana pysyvä rakenneosa $\rightarrow F_m = 1$

F_a = vanhenemisen muuntotekijä

Ikääntyminen on jo huomioitu λ_D -arvossa $\rightarrow F_a = 1$

⁽³⁾ SFS-EN-ISO 6946 (6.8, s.20)

Lämpötilat rakenteen eri kohdissa

Lämpötila ulkona:		-10°C
Lämpötila ulkopinnalla:	-10°C+0,2°C=	-9,8°C
Lämpötila tiilen ja villan välissä:	-9,8°C+0,3°C=	-9,5°C
Lämpötila villan ja betonin välissä:	-9,5°C+29,5°C=	20,0°C
Lämpötila sisäpinnalla:	20,0°C+0,4°C =	20,4°C
Lämpötila sisällä:	20,4°C+0,6°C =	21,0°C

Lämmönläpäisykerroin U

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

$$U = \frac{1}{6,370 \frac{m^2 * ^\circ C}{W}}$$

$$U = 0,156985 \dots \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Korjatun lämmönläpäisy kertoimen U_c laskeminen

$$U_c = U + \Delta U$$

$$U_c = U + \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r$$

Mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä ΔU_f

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f * A_f * n_f}{d_0} * \left(\frac{R_1}{R_{tot}} \right)^2$$

$$\Delta U_f = 0 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Ilmaraoista aiheutuva korjaustekijä ΔU_g

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

Villakerros toteutetaan kahdella 100 mm paksulla kerroksella siten, että saumakohtat limityivät. Tällöin ilmalle ei jää suoraa reittiä koko eristekerroksen läpi.

$$\Delta U'' = 0 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

$$\Delta U_g = 0 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Käännetystä katosta aiheutuva korjaustekijä ΔU_r

$$\Delta U_r = 0$$

Korjaustekijä ΔU

$$\Delta U = \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r$$

$$\Delta U = 0 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Korjattu lämmönläpäisy kerroin U_c

$$U_c = U + \Delta U$$

$$U_c \approx 0,16 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Esim.

Rakennuksen seinän muodostavat ulkoa lukien 100 mm betoni, 150 mm mineraalivilla, höyrynsulkumuovi ja 13 mm kipsilevy. Laske seinän U_C -arvo ja lämpötila seinärakenteen eri kohdissa, kun ulkona on -15 °C ja sisällä 21 °C .

$$d[\text{m}] \quad \lambda \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}} \right] \quad R = \frac{d \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}} \right]}{\lambda} \quad \Delta t = \frac{R}{R_{\text{tot}}} * (t_s - t_u) [\text{°C}]$$

ulkopinta	-	-	0,04	0,3
betoni	0,10	2,0	0,05	0,4
villa	0,15	0,033 ⁽¹⁾	4,542	33,9
muovi	0,0002	0,5	0,000 ⁽²⁾	0,0
kipsilevy	0,013	0,25	0,052	0,4
sisäpinta	-	-	0,13	1,0
		$R_{\text{tot}}=$	4,817	

⁽¹⁾ $\lambda_D = 0,033 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}}$ (valmistajan ilmoittama)

$$\lambda = \lambda_{\text{Declared}} * F_r * F_m * F_a = \lambda_D * 1 * 1 * 1 \rightarrow \lambda = \lambda_D$$

⁽²⁾ muovin voi jättää huomiotta U-arvoa laskettaessa

Lämpötilat rakenteen eri kohdissa

Lämpötila ulkona:		-15 °C
Lämpötila ulkopinnalla:	$-15\text{ °C} + 0,3\text{ °C} =$	$-14,7\text{ °C}$
Lämpötila betonin ja villan välissä:	$-14,7\text{ °C} + 0,4\text{ °C} =$	$-14,3\text{ °C}$
Lämpötila villan ja muovin välissä:	$-14,3\text{ °C} + 33,9\text{ °C} =$	$19,6\text{ °C}$
Lämpötila sisäpinnalla:	$19,6\text{ °C} + 0,4\text{ °C} =$	$20,0\text{ °C}$
Lämpötila sisällä:	$20,0\text{ °C} + 1,0\text{ °C} =$	$21,0\text{ °C}$

Lämmönläpäisykerroin U

$$U = \frac{1}{R_{\text{tot}}}$$

$$U = \frac{1}{4,817 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}}}$$

$$U = 0,207598 \dots \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$$

Korjatun lämmönläpäisy kertoimen U_c laskeminen

$$U_c = U + \Delta U$$

$$U_c = U + \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r$$

Mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä ΔU_f

$$\Delta U_f = 0 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Ilmaraoista aiheutuva korjaustekijä ΔU_g

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

Villalevyjen väliin jää reitti koko eristekerroksen läpi, vaikka ilman virtausta ei ole.

$$\Delta U'' = 0,01 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$\Delta U_g = 0,01 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot \left(\frac{4,542 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}}{4,817 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}} \right)^2$$

$$\Delta U_g = 0,00889 \dots \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Käännyistä katoista aiheutuva korjaustekijä ΔU_r

$$\Delta U_r = 0$$

Korjaustekijä ΔU

$$\Delta U = \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r$$

$$\Delta U = (0 + 0,00889 \dots + 0) \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$\Delta U = 0,00889 \dots \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{0,00889 \dots \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}}{0,207598 \dots \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} \cdot 100\% = 4\% \text{ (koska suhde on yli 3\% niin korjaus täytyy ottaa huomioon.)}$$

Korjattu lämmönläpäisy kerroin U_c

$$U_c = U + \Delta U$$

$$U_c = (0,207598 \dots + 0,00889 \dots) \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

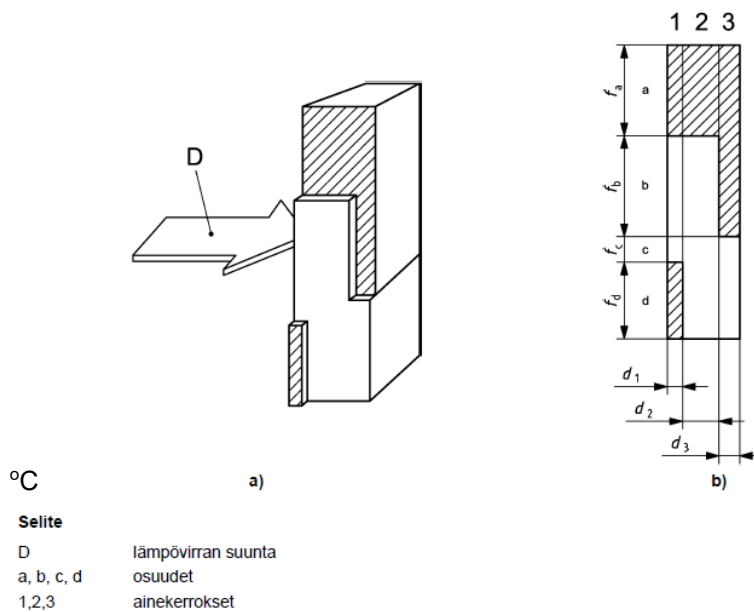
$$U_c \approx 0,22 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Jos rakennusosassa on pintojen suuntaisia ainekerroksia, joissa on rinnakkain lämmönvastukseltaan erilaisia osa-alueita (esim. puurunko ja villa) eli ainekerrokset ovat epätasa-aineiset (epähomogeeniset), lasketaan rakenteen kokonaislämmönvastus lämmönvastuksen yläkiiarvon $R_{tot;upper}$ ja alalikiarvon $R_{tot;lower}$ keskiarvona

$$R_{tot} = \frac{R_{tot;upper} + R_{tot;lower}}{2} \quad (10)$$

Jos ylä- ja alalikiarvon suhde on suurempi kuin 1,5 tätä menetelmää ei voida käyttää. Erityisesti näin tapahtuu, jos rakenteessa on metallirakenteita. Tällöin laskettua U-arvoa korjataan kylmäsiltojen korjaustekijällä (ks. 3.9.).

Ylä- ja alalikiarvon laskemisessa käytetään kaavoja (11), (12) ja (13). Kaavoissa käytettyjen merkintöjen ymmärtämisessä auttaa alla oleva standardin SFS-EN ISO 6946 kuva.



"Standardien lainaukset on tehty Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n luvalla".

$$\frac{1}{R_{tot;upper}} = \frac{f_a}{R_{tot;a}} + \frac{f_b}{R_{tot;b}} + \dots \quad (11)$$

f_a, f_b, \dots, f_q = osa-alueiden alat suhteessa koko alaan
 $R_{tot;a}, R_{tot;b}, \dots$ = osa-alueiden kokonaislämmönvastukset
 laskettuna kaavalla (8)

$$R_{tot;lower} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{j1} + R_{j2} + \dots + R_{se} \quad (12)$$

R_1, R_2, \dots = tasa-aineisen ainekerroksen 1, 2, ... lämmönvastus
 R_{j1}, R_{j2}, \dots = epätasa-aineisen ainekerroksen j_1, j_2, \dots lämmönvastus

R_j voidaan laskea joko kaavalla (13a) tai (13b).

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots \quad (13a)$$

f_a, f_b, \dots, f_q = osa-alueiden alat suhteessa koko alaan

R_{aj}, R_{bj}, \dots = epätasa-aineisen kerroksen j aineiden a, b, \dots lämmönvastukset

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_{eq;j}} = \frac{d_j}{\lambda_{aj}f_a + \lambda_{bj}f_b + \dots} \quad (13b)$$

d_j = epätasa-aineisen ainekerroksen j paksuus

$\lambda_{aj}, \lambda_{bj}, \dots$ = epätasa-aineisen ainekerroksen j aineiden a, b, \dots lämmönjohtavuus

Esim.

Rakennuksen seinän muodostavat ulkoa lukien

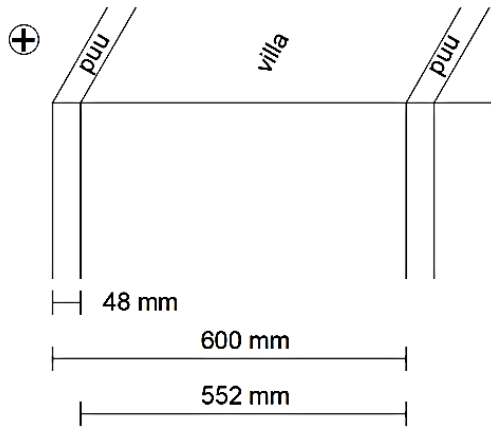
1. tiilijulkisivu 85 mm
2. ilmarako 35 mm, hyvin tuuletettu
3. ts-levy 9 mm
4. puukoolaus 48 x 200 k 600 + mineraalivillalevyä
5. hs-muovi, PE-kalvo 0,2 mm
6. kipsilevy 13 mm (tiheys 900 kg/m³).

Laske seinän U_C -arvo.

	$d[m]$	$\lambda \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$	$R = \frac{d}{\lambda} \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]$
ulkopinta	-	-	0,13 ⁽¹⁾
tiilijulkisivu	0,085	0,60 ⁽¹⁾	-
ilmarako	0,035	- ⁽¹⁾	-
tuulensuojalevy	0,009	0,25	0,036
puu + villa	0,200	0,12/0,033 ⁽²⁾	1,667/6,061
muovi	0,0002	0,5	0,000
kipsilevy	0,013	0,25	0,052
sisäpinta	-	-	0,13
		$R_{tot} =$	2,015/6,409

⁽¹⁾ Standardin SFS-EN-ISO 6946(6.9.4) mukaan hyvin tuulettuvan ilmaraon ulkopuolella olevia kerroksia eikä itse ilmakerrosta huomioida ja ulkopinnan lämmönvastusarvona käytetään sisäpinnan arvoa.

⁽²⁾ $\lambda_D = 0,033 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ (valmistajan ilmoittama) $\lambda = \lambda_D \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \rightarrow \lambda = \lambda_D$



$$puuta = \frac{48\text{mm}}{600\text{mm}} = 0,08 = 8\%$$

$$villaa = \frac{552\text{mm}}{600\text{mm}} = 0,92 = 92\%$$

$$\frac{1}{R_{tot:upper}} = \frac{0,08}{2,015 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}}} + \frac{0,92}{6,409 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}}}$$

$$R_{tot:upper} = 5,457 \dots \frac{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}{\text{W}}$$

$$\frac{1}{R_{puu+villa}} = \frac{0,08}{1,667 \frac{m^2 * ^\circ C}{W}} + \frac{0,92}{6,061 \frac{m^2 * ^\circ C}{W}}$$

$$R_{puu+villa} = 5,005 \frac{m^2 * ^\circ C}{W}$$

	$d[m]$	$\lambda \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$	$R = \frac{d}{\lambda} \left[\frac{m^2 * ^\circ C}{W} \right]$
ulkopinta	-	-	0,13 ⁽¹⁾
tiilijulkisivu	0,085	0,69 ⁽¹⁾	-
ilmarako	0,035	- ⁽¹⁾	-
tuulensuojalevy	0,009	0,25	0,036
puu + villa	0,200	0,12/0,033 ⁽²⁾	1,667/6,061 5,005
muovi	0,0002	0,5	0,000
kipsilevy	0,013	0,25	0,052
sisäpinta	-	-	0,13
		Rtot:lower=	5,353

$$R_{tot:upper} = 5,457 \dots \frac{m^2 * ^\circ C}{W}$$

$$R_{tot:lower} = 5,353 \frac{m^2 * ^\circ C}{W}$$

$$R_{tot} = \frac{R_{tot:upper} + R_{tot:lower}}{2} \rightarrow R_{tot} = \frac{5,457 \dots \frac{m^2 * ^\circ C}{W} + 5,353 \frac{m^2 * ^\circ C}{W}}{2}$$

$$R_{tot} = 5,405 \dots \frac{m^2 * ^\circ C}{W}$$

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \rightarrow U = \frac{1}{5,405 \dots \frac{m^2 * ^\circ C}{W}} \rightarrow U = 0,185 \dots \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

$$U_c = U + \Delta U$$

$$U_c = U + \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r$$

$$\Delta U_f = 0 \text{ (ei kiinnikkeitä)}$$

$$\Delta U_r = 0 \text{ (ei käännetty katto)}$$

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

$$\Delta U'' = 0,01 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} \text{ (runko katkaisee koko eristekerroksen, mutta ei ilman kulkua)}$$

$$\Delta U_g = 0,01 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * \left(\frac{6,061 \frac{m^2 * ^\circ C}{W}}{6,409 \frac{m^2 * ^\circ C}{W}} \right)^2$$

$$\Delta U_g = 0,00894 \dots \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Korjaustekijä ΔU

$$\Delta U = \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r$$

$$\Delta U = (0 \dots + 0,00894 \dots + 0) \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

$$\Delta U = 0,00894 \dots \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{0,00894 \dots \frac{W}{m^2 * ^\circ C}}{0,185 \dots \frac{W}{m^2 * ^\circ C}} * 100\% = 5\% \text{ (koska suhde on yli 3\% niin korjaus täytyy ottaa huomioon.)}$$

Korjattu lämmönläpäisy kerroin U_c

$$U_c = U + \Delta U$$

$$U_c = (0,185 \dots + 0,00894 \dots) \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

$$U_c \approx 0,19 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Esim.

Rakennuksen seinän muodostavat ulkoa lukien

1. tiilijulkisivu 130 mm
2. ilmarako 35 mm
3. tuulensuojalevy 30 mm
4. mineraalivilla 150 mm
5. betoni 100 mm

Seinän pituus on 10 m ja korkeus 2,5 m. Pystysuora 35 mm tuulettuva ilmaväli on aikaansaatu jättämällä alimmassa tiilivarvissa joka kolmas pystysauma ilman laastia. Tiilimuraus on sidottu betoniseinään ruostumattomilla 4 mm muuraussiteillä, 4 kpl/m². Tiili normaalikokoinen kalkkihiekkatiili, saumat 15 mm.

Laske seinän U_C-arvo.

Standardin SFS-EN-ISO 6946 (6.9.4) mukaan ilmarako on hyvin tuulettuva, jos pystysuorassa ilmaraossa siihen johtavien aukkojen pinta-ala on vähintään 1500 mm²/leveysmetri. Tässä tiiliseinässä yhden aukon koko on 15 mm · 75 mm = 1125 mm².

Alimmassa rivissä on tiiliä ja saumoja 10m/0,30m = 33 kpl. Jos joka kolmas sauma eli 11 kpl on ilman laastia, aukkoja on yhteensä 11 · 1125 mm² = 12375 mm².

Metrin leveyttä kohti aukkoja on 12375 mm²/10m = 1237,5 mm²/m, mikä on pienempi kuin 1500 mm²/m. Tuuletusväliä ei kannata tehdä lievästi tuulettuvaksi eli lisätään kolme aukkoa ja näin tuuletusväli saadaan hyvin tuulettuvaksi.

	d[m]	$\lambda \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$	$R = \frac{d}{\lambda} \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]$
ulkopinta	-	-	0,13 ⁽¹⁾
tiili	0,13	0,60 ⁽¹⁾	-
ilmarako	0,035	- ⁽¹⁾	-
ts-levy	0,03	0,031	0,968
villa	0,15	0,033 ⁽²⁾	4,545
betoni	0,10	2,0	0,05
sisäpinta	-	-	0,13
		R _{tot} =	5,823

¹⁾ Standardin SFS-EN-ISO 6946 (6.9.4) mukaan hyvin tuulettuvan ilmaraon ulkopuolella olevia kerroksia eikä itse ilmakerrosta huomioida ja ulkopinnan lämmönvastusarvona käytetään sisäpinnan arvoa.

⁽²⁾ $\lambda_D = 0,033 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ (valmistajan ilmoittama) $\lambda = \lambda_D \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \rightarrow \lambda = \lambda_D$

Lämmönläpäisykerroin U

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

$$U = \frac{1}{5,823 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}}$$

$$U = 0,1717 \dots \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Korjatun lämmönläpäisy kertoimen U_c laskeminen

$$U_c = U + \Delta U$$

$$U_c = U + \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r$$

Mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä ΔU_f

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f * A_f * n_f}{d_0} * \left(\frac{R_1}{R_{tot}} \right)^2$$

$$\Delta U_f = 0,8 \frac{17 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * \pi * (0,002m)^2 * 4 \frac{1}{m^2}}{(0,15 + 0,03)m} * \left(\frac{(4,545 + 0,968) \frac{m^2 * ^\circ C}{W}}{5,823 \frac{m^2 * ^\circ C}{W}} \right)^2$$

$$\Delta U_f = 0,0034 \dots \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Ilmaraoista aiheutuva korjaustekijä ΔU_g

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

$$\Delta U'' = 0,01 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} \text{ (Teräsansaiden ja eristeen välissä on suora reitti, mutta ei aiheudu ilman kiertoa)}$$

$$\Delta U_g = 0,01 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * \left(\frac{(4,545 + 0,968) \frac{m^2 * ^\circ C}{W}}{5,823 \frac{m^2 * ^\circ C}{W}} \right)^2$$

$$\Delta U_g = 0,00896 \dots \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Käännetyistä katoista aiheutuva korjaustekijä ΔU_r

$$\Delta U_r = 0$$

Korjaustekijä ΔU

$$\Delta U = \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r$$

$$\Delta U = (0,0034 \dots + 0,00896 \dots + 0) \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

$$\Delta U = 0,0123 \dots \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{0,0123 \dots \frac{W}{m^2 * ^\circ C}}{0,1717 \dots \frac{W}{m^2 * ^\circ C}} * 100\% = 7\% \text{ (koska suhde on yli 3\% niin korjaus täytyy ottaa huomioon.)}$$

Korjattu lämmönläpäisy kerroin U_c

$$U_c = U + \Delta U$$

$$U_c = (0,1717 \dots + 0,0123 \dots) \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

$$U_c \approx 0,18 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

L.3.9 Korjatun lämmönläpäisykertoimen U_c laskeminen

$$U_c = U + \Delta U$$

$$= U + \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r \quad (14)$$

ΔU_f = mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä

ΔU_g = ilmaraoista aiheutuva korjaustekijä

ΔU_r = käännettyistä katoista aiheutuva korjaustekijä

Jos ΔU on vähemmän kuin 3 % U-arvosta, korjausta ΔU ei oteta huomioon.

U_c -arvo ilmoitetaan kahden merkitsevän numeron tarkkuudella.

Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijää laskettaessa tarkoitetaan eristekerroksen kokonaan tai osittain läpäiseviä kiinnikeitä, kuten esimerkiksi muuraussiteitä.

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_0} \cdot \left(\frac{R_1}{R_{tot}} \right)^2 \quad (15)$$

$$\alpha = 0,8 \cdot \frac{d_1}{d_0}$$

d_1 = syvyys, jolle kiinnike ulottuu eristekerroksessa

d_0 = kiinnikkeen sisältävän eristekerroksen kokonaispaksuus

λ_f = kiinnikkeen lämmönjohtavuus

A_f = kiinnikkeen poikkipinta-ala

n_f = kiinnikkeiden lukumäärä neliömetrin alalla

R_1 = kiinnikkeen sisältävän (eriste)kerroksen lämmönvastus

R_{tot} = koko rakenteen lämmönvastus

Jos kiinnike lävistää koko eristekerroksen, $\alpha = 0,8$.

Ilmarakojen korjaustekijää laskettaessa tarkoitetaan eristekerroksessa tai sen läheisyydessä olevia ilmarakoja. Tällaisia ilmarakoja ovat eristelevyjen väliin tai eristelevyjen ja muun rakenteen väliin jäävät ilmaraoit.

$$\Delta U_g = \Delta U'' \cdot \left(\frac{R_1}{R_{tot}} \right)^2 \quad (16)$$

$\Delta U''$ = ilmarakon korjauskertoimen (alla oleva taulukko SFS-EN ISO 6946)

R_1 = ilmarakon sisältävän (eriste)kerroksen lämmönvastus

R_{tot} = koko rakenteen lämmönvastus

"Standardien lainaukset on tehty Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n luvalla".

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

Jos eristettä laitetaan yksi kerros, jää levyjen väliin koko eristekerroksen läpäisevä ilmareitti. Tällöin käytetään korjauskerrointa 1. Samaa korjauskerrointa käytetään myös siinä tapauksessa, kun runko lävistää eristekerroksen.

Jos eristekerros tehdään kahdella päällekkäisellä eristekerroksella limitetyin saumoin, käytetään korjauskerrointa 0 eli ilmaraon korjausta ei tarvitse tehdä. Samalla perusteella, vaikka runko lävistää eristeen, mutta käytetään eristemäistä tuulensuojaa runkoon kiinnitetynä (muodostuu limitetty sauma), käytetään korjauskerrointa 0.

Ilmarakoa, joka korjataan kertoimella 2, ei pitäisi suunnitella/muodostua uudiskohteeseen. Korjausrakentamisessa tällaisia rakenteita tulee vastaan.

Eristekerros tulee asentaa tiiviisti, kiinni myös eristeen vieressä oleviin materiaaleihin!

Esim. Korjaa edellä olleiden esimerkkien U-arvot U_C -arvoiksi.

L.3.10 Eristekerroksen luonnollinen konvektio

On muistettava, ettei yläpohjien ja ulkoseinien lämmöneristekerroksissa saa tapahtua haitallisessa määrin luonnollista konvektiota, koska se heikentää eristeen lämmöneristyskykyä. Luonnollisen konvektion suuruus riippuu lämmöneristeen paksuudesta ja ilmanläpäisevyydestä sekä eristeen lämpötilaerosta. Asia voidaan tarkistaa laskemalla Rayleighin luku (Ra_m), jonka tulee olla pienempi kuin ilmoitetut taulukkoarvot (SFS-EN ISO 10456).

$$Ra_m = 3 \cdot 10^6 \frac{d \cdot \eta \cdot k \cdot \Delta T}{\lambda} \quad (17)$$

d=lämmöneristeen paksuus

η =ilman viskositeetti = $0,0175 \cdot 10^{-3}$ Pa·s

k=lämmöneristeen ilmanläpäisevyys, $m^2/(Pa \cdot s)$

ΔT =lämmöneristeen eri puolien lämpötilaero = 50 °C

λ =lämmöneristeen lämmönjohtavuus

Esim. Laske Rayleighin luku 600 mm puhallusvillalle, 200 mm mineraalivillalevyille ja 50 mm uretaanilevyille.

	$d[m]$	$\lambda \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$	$\kappa \left[\frac{m^2}{Pa \cdot s} \right]$	Ra_m
puhallusvilla	0,600	0,038	$180 \cdot 10^{-6}$	7,5
mineraalivilla	0,200	0,033	$50 \cdot 10^{-6}$	0,8
uretaanilevy	0,050	0,026	$<30 \cdot 10^{-6}$	<0,2

L.4 Maanvastaiset rakenteet

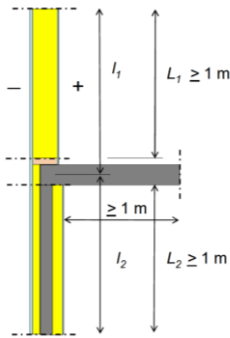
Maanvastaisten rakenteiden kuten alapohjien tai kellarinseinien U-arvo lasketaan standardin SFS-EN ISO 13370 mukaan. Menetelmä poikkeaa seinän ja yläpohjan U-arvon laskemisesta, koska maa vaikuttaa lämpötekniiseen tilanteeseen eri tavalla kuin ilma. Maanvastaisten rakenneosien U-arvon vertailuarvo on $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

L.5 Ikkunan, oven ja tuuletusluukun U-arvo

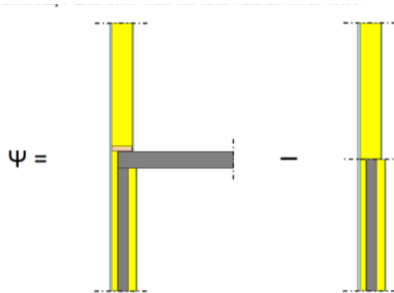
Ikkunan, oven ja tuuletusluukun U-arvo lasketaan standardin SFS-EN ISO 10077 mukaan ja niiden U-arvon vertailuarvo on $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

L.6 Rakennusosien väliset liitokset

Rakennusten lämpöhäviöt ovat pienentyneet viime vuosina huomattavasti. Tästä johtuen erilaisten kylmäsiltojen merkitys lämpöhäviöiden kannalta on kasvanut. Aiemmin laskennassa on otettu huomioon vain rakennusosassa olevat säännölliset kylmäsilat kuten teräsiteet ja runkorakenteet. Nykyään E-luvun laskemisessa otetaan huomioon myös rakennusosien välisten liitosten kylmäsilat. Liittymän lisäkonduktanssi eli ψ -arvo kertoo rakennusosien välisten kylmäsiltojen lämpöhäviön metrin pituusyksikköä kohti. Laskentatapa on esitetty standardeissa SFS-EN ISO 14683 ja SFS-EN ISO 10211 sekä Ympäristöministeriön viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaoppaassa.



Esimerkki alemman ja ylemmän kerroksen seinien ja välipohjan liitoksesta.



Liitoksen lisäkonduktanssi ψ on todellisen rakenteen ja vertailurakenteen lämpövirran erotus.

Kaksiulotteisen lisäkonduktanssin laskentakaava on

$$\psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j l_j, \quad (18)$$

missä L_{2D} on kaksiulotteisella laskennalla numeerisesti määritetty lämpötekkinen kytkentäkerroin tarkasteltavalle liitokselle ja liittyville rakennusosille $W/(mK)$.

Liitosten aiheuttamat viivamaiset lisäkonduktanssit voidaan standarsin SFS-EN ISO 14683 mukaan määrittää

- numeerisesti (tyypillinen tarkkuus $\pm 5 \%$)
- käyttämällä tyypirakenteille valmiiksi laskettuja arvoja (tyypillinen tarkkuus $\pm 20 \%$)
- käsinlaskennalla (tyypillinen tarkkuus $\pm 20 \%$) ja/tai
- käyttämällä ohjearvotaulukoita (tyypillinen tarkkuus $\pm 0-50 \%$).

Rakentamismääräyskokoelman julkaisusta *Energiätehokkuus, Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta* löytyy ohjearvoja lisäkonduktansseille.

Taulukko 3.1. Ohjearvoja viivamaisen kylmäsiilan aiheuttamalle lisäkonduktanssille (Ψ_k) ulkoseinän ja yläpohjan, ulkoseinän ja välipohjan sekä ulkoseinän ja alapohjan välisissä liitoksissa joillakin runkomateriaaleilla, W/(m·K).

Ulkoseinä-materiaali	Lisäkonduktanssi Ψ_k , W/(m K)									
	Yläpohjan (ulkonurkka) runkomateriaali			Välipohjan runkomateriaali			Alapohjan runkomateriaali			
	betoni	kevyt-betoni	puu	betoni	kevyt-betoni	puu	betoni maan-vast.	betoni ryöm.tila	kevyt-betoni ryöm.tila	puu ryöm.tila
betoni	0,08		0,04	0,00			0,24	0,28		
kevytbetoni	0,18	0,06	0,04	0,10	0,00		0,09	0,08	0,03	
kevytsora-betoni	0,13		0,04	0,07			0,15	0,11		
tiili	0,08		0,04	0,00			0,17	0,06		
puu			0,05			0,05	0,10			0,06
hirsi			0,04			0,00	0,11			0,09

Taulukko 3.2. Ohjearvoja viivamaisen kylmäsiilan aiheuttamalle lisäkonduktanssille (Ψ_k) ulkoseinien välisissä nurkkaliitoksissa sekä ikkuna- ja oviliitoksissa joillakin runkomateriaaleilla, W/(m K).

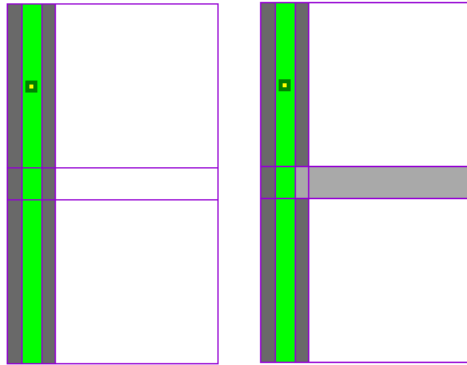
Liitos	Lisäkonduktanssi Ψ_k , W/(m K)					
	Ulkoseinän runkomateriaali					
	betoni	kevyt-betoni	kevyt-sora-betoni	tiili	puu	hirsi
ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05
ulkoseinien välinen liitos, sisänurkka	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05
ikkuna- ja oviliitos, lämmöneristeen kohdalla ¹⁾	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
ikkuna- ja oviliitos muussa tapauksessa	0,15	0,07	0,10	0,10	0,07	0,07

¹⁾ Karmi peittää vähintään 40 % lämmöneristeen kokonaispaksuudesta.

Taulukko 3.3. Ohjearvot viivamaisen kylmäsiilan aiheuttamalle lisäkonduktanssille (Ψ_k) liitoksissa, joille ei ole annettu erillistä arvoa taulukoissa 3.1 ja 3.2, W/(m K). Muut rakenteiden väliset liitokset voidaan jättää laskennassa huomioimatta.

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

Esim. Laske kiviseinän (90 mm betoni, 120 mm uretaani, 80 mm betoni) ja betoniväli-pohjan (200 mm) liitoksen aiheuttama lisäkonduktanssi ja vertaa sitä taulukkoarvoon.



Laskentatapaus Vertailutapaus

$L_{2D} = 0,368875 \text{ W/mK}$ (laskentaohjelmasta, ohjelmassa käytetty $\lambda_{\text{bet}}=2,0 \text{ W/mK}$ ja $\lambda_{\text{ure}}=0,021 \text{ W/mK}$)

	$d[\text{m}]$	$\lambda \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$	$R = \frac{d \left[\frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{W}} \right]}$
ulkopinta			0,04 ⁽¹⁾
betoni	0,08	2,0	0,04
uretaani	0,12	0,021	5,714
betoni	0,09	2,0	0,045
sisäpinta			0,13
		$R_{\text{tot}}=$	5,969...

$$U = \frac{1}{5,969 \frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{W}}} = 0,16753225 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j l_j = 0,368875 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} - 2,2\text{m} * 0,16753225 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} = 0,0003 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Edellisen sivun ohjeavotaulukossa betoniväli-pohjalle betoniseinässä $\psi=0$ eli tässä tapauksessa taulukkoarvo ja itse laskettu arvo ovat hyvin lähellä toisiaan.

L.7 Rakennuksen lämpöhäviöt

Rakennuksen **vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon** lämpöhäviötä rajoitetaan hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Lämpöhäviön määräystenmukaisuus osoitetaan tasauslaskelmalla, joka tehdään erikseen lämpimille ja puolilämpimille tiloille.

L.7.1 Rakennuksen vaipan lämpöhäviö

Esim. Julkisivupinta-ala 143 m^2 , $U_{C,\text{seinä}}=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$

Yläpohja 147 m^2 , $U_{C,\text{yp}}=0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$

Alapohja (maanvastainen) 147 m^2 , $U_{C,\text{ap}}=0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$

Pohjan mitat $10 \text{ m} \times 14,7 \text{ m}$

Huonekorkeus 3 m

Ikkunapinta-ala 49 m^2 , $U_{C,\text{ikk}}=1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$

Ulko-ovet $8,2 \text{ m}^2$, $U_{C,\text{ovi}}=1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$

$$\psi_{\text{us-us}} = 0,04 \text{ W}/(\text{m }^\circ\text{C})$$

$$\psi_{\text{ap-us}} = 0,10 \text{ W}/(\text{m }^\circ\text{C})$$

$$\psi_{\text{yp-us}} = 0,05 \text{ W}/(\text{m }^\circ\text{C})$$

$$\psi_{\text{ikk-us}} = 0,04 \text{ W}/(\text{m }^\circ\text{C})$$

Paljonko lämpöenergiaa menee vaipan läpi Jouleina ja kWh vuodessa?

Kuinka suuri on viivamaisten kylmäsiltojen aiheuttaman lämpöhäviön osuus koko vaipan lämpöhäviöstä?

Ratkaisu:

Oletetaan, että ulkoilman lämpötilan vuosikeskiarvo on $4 \text{ }^\circ\text{C}$ ja maan lämpötilan vuosikeskiarvo on $7 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$\text{seinä: } (143 - 49 - 8,2) \text{ m}^2 * 0,17 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * 17^\circ\text{C} * 3600 * 24 * 365 \text{ s} = 7,81 \dots 10^9 \text{ J} \approx 2172 \text{ kWh}$$

$$\text{yp: } 147 \text{ m}^2 * 0,09 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * 17^\circ\text{C} * 3600 * 24 * 365 \text{ s} = 7,09 \dots 10^9 \text{ J} \approx 1970 \text{ kWh}$$

$$\text{ap: } 147 \text{ m}^2 * 0,09 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * 14^\circ\text{C} * 3600 * 24 * 365 \text{ s} = 5,84 \dots 10^9 \text{ J} \approx 1623 \text{ kWh}$$

$$\text{ikk: } 49 \text{ m}^2 * 1,0 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * 17^\circ\text{C} * 3600 * 24 * 365 \text{ s} = 26,27 \dots 10^9 \text{ J} \approx 7297 \text{ kWh}$$

$$\text{ovet: } 8,2 \text{ m}^2 * 1,0 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * 17^\circ\text{C} * 3600 * 24 * 365 \text{ s} = 4,40 \dots 10^9 \text{ J} \approx 1221 \text{ kWh}$$

viivamaiset kylmäsiilat

us-us: neljä nurkkaa, korkeus 3 m, kylmäsiiltaa $4 * 3 \text{ m} = 12 \text{ m}$

$$12 \text{ m} * 0,04 \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{C}} * 17^\circ\text{C} * 3600 * 24 * 365\text{s} = 0,26 \dots 10^9 \text{ J} \approx 71 \text{ kWh}$$

ap-us: suorakaiteen muotoinen pohja $10 \text{ m} * 14,7 \text{ m}$, kylmäsiiltaa 49,4 m

$$49,4 \text{ m} * 0,10 \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{C}} * 17^\circ\text{C} * 3600 * 24 * 365\text{s} = 2,65 \dots 10^9 \text{ J} \approx 736 \text{ kWh}$$

yp-us: suorakaiteen muotoinen pohja $10 \text{ m} * 14,7 \text{ m}$, kylmäsiiltaa 49,4 m

$$49,4 \text{ m} * 0,05 \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{C}} * 17^\circ\text{C} * 3600 * 24 * 365\text{s} = 1,32 \dots 10^9 \text{ J} \approx 368 \text{ kWh}$$

ovi-us: kolme ovea $2,3 \text{ m} * 0,9 \text{ m}$, yksi ovi $2,3 \text{ m} * 1,0 \text{ m}$,

kylmäsiiltaa $3 * (0,9 + 2,3 + 2,3)\text{m} + (1,0 + 2,3 + 2,3) = 22,1\text{m}$

$$22,1\text{m} * 0,04 \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{C}} * 17^\circ\text{C} * 3600 * 24 * 365\text{s} = 0,47 \dots 10^9 \text{ J} \approx 132 \text{ kWh}$$

ikk-us: kymmenen ikkunaa $2 \text{ m} * 2 \text{ m}$, neljä ikkunaa $1,5 \text{ m} * 1,5 \text{ m}$,

kylmäsiiltaa $10 * 4 * 2 \text{ m} + 4 * 4 * 1,5 \text{ m} = 104\text{m}$

$$104 \text{ m} * 0,04 \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{C}} * 17^\circ\text{C} * 3600 * 24 * 365\text{s} = 2,23 \dots 10^9 \text{ J} \approx 620 \text{ kWh}$$

Vaipan lämpöhäviöt yhteensä ovat 16210 kWh.

Viivamaisten kylmäsiiltojen lämpöhäviöt ovat 1927 kWh eli koko vaipan lämpöhäviöstä 12 %. Tämä on merkittävä osuus. Siksi viivamaisten kylmäsiiltojen vaikutus on perusteltua ottaa huomioon vaipan lämpöhäviötä laskettaessa.

L.7.2 Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviö

Esim. Julkisivupinta-ala 143 m^2 , $U_{C,\text{seinä}}=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$

Yläpohja 147 m^2 , $U_{C,\text{yp}}=0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$

Alapohja (maanvastainen) 147 m^2 , $U_{C,\text{ap}}=0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$

Ikkunapinta-ala 49 m^2 , $U_{C,\text{ikk}}=1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$

Ulko-ovet $8,2 \text{ m}^2$, $U_{C,\text{ovi}}=1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku (q_{50}) on kaksi kuutiota tunnissa vaipan neliötä kohti [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$].

Ilmanvuotoluvusta on lisätietoa Virtaukset-osiossa kohdassa V.6.3. Ilmanvuotoluvut 1950-luvulla rakennetuissa pientaloissa ovat noin $12 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, 1980-luvulla rakennetuissa noin $6 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ja tällä hetkellä vertailuarvo on $2 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Hyvin rakennettujen uusien pientalojen ilmanvuotoluvut ovat noin $0,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.

Paljonko lämpöenergiaa menee vuotoilman mukana vaipan läpi Jouleina ja kWh vuodessa?

Ratkaisu:

$$q_{50} = 2 \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

$$q = \frac{2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}\cdot\text{m}^2}}{x} = \frac{2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}\cdot\text{m}^2}}{35} = 0,057 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}\cdot\text{m}^2}$$

(yksikerrosiset $x=35$, Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017), §17)

$$0,057 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{m}^2} * (143 + 147 + 147) \text{ m}^2 = 24,97 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Ilman tiheys on $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$ ja ominaislämpökapasiteetti $1000 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$.

$$24,97 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * 17 \text{ }^\circ\text{C} * 24 * 365 \text{ h} = 4,46 \dots 10^9 \text{ J} \approx 1240 \text{ kWh}$$

L.7.3 Rakennuksen ilmanvaihdon lämpöhäviö

Esim. Julkisivupinta-ala 143 m^2 , $U_{C,\text{seinä}}=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$

Yläpohja 147 m^2 , $U_{C,\text{yp}}=0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$

Alapohja (maanvastainen) 147 m^2 , $U_{C,\text{ap}}=0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$

Ikkunapinta-ala 49 m^2 , $U_{C,\text{ikk}}=1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$

Ulko-ovet $8,2 \text{ m}^2$, $U_{C,\text{ovi}}=1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$

Rakennuksen vaipan keskimääräinen ilmanvuotoluku (q_{50}) on kaksi kuutiota tunnissa vaipan neliötä kohti [$\text{m}^3/(\text{h m}^2)$].

Yleinen pientalon ilmanvaihdon mitoitusperiaate on 0,4 litraa sekunnissa lämmitettyä neliötä kohti. Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde on 55 %.

Paljonko lämpöenergiaa menee ilmanvaihdon poistoilman mukana Jouleina ja kWh vuodessa?

Ratkaisu:

$$0,4 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} = 0,0004 \frac{\text{m}^3}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$$

(Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017), §10)

Ilman tiheys on $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$ ja ominaislämpökapasiteetti $1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.

$$\begin{aligned} 0,0004 \frac{\text{m}^3}{\text{s} \cdot \text{m}^2} * 147 \text{ m}^2 * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * 17 ^\circ\text{C} * 3600 * 24 * 365 \text{ h} \\ = 37,78 \dots 10^9 \text{ J} \approx 10508 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Tästä energiasta 55 % saadaan talteen ja 45 % menee hukkaan:

$$10508 \text{ kWh} * 0,45 = 4729 \text{ kWh}$$

Kaikki vaipan lämpöhäviöt yhteensä ovat (16210 + 1240 + 4729) kWh \approx 22000 kWh.

L.7.4 Tasauslaskenta

1010/2017

3 luku

Rakennuksen lämpöhäviö

23 §

Rakennuksen lämpöhäviön määrittäminen

Rakennuksen lämpöhäviö on rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö. Rakennuksen lämpöhäviö voi olla enintään yhtä suuri kuin vertailuarvoilla rakennukselle määritetty vertailulämpöhäviö. Rakennuksen lämpöhäviölle asetettu vaatimus koskee erikseen rakennuksen lämpimiä ja puolilämpimiä tiloja.

Tasauslaskennan periaatteet on esitetty *Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudelle (1010/2017)*. Rakentamismääräyskokoelmassa on myös *Tasauslaskentaopas ja excel-laskentapohja* tasauslaskelman laskemiseen.

Vertailutalon koko (tilavuus ja pinta-alat) ovat samat kuin suunnitteluratkaisussa lukuunottamatta ikkunapinta-alaa (15 % kerrostasoalasta). Vertailutalon ilmanvuotoluku on $2,0 \frac{\text{m}^3}{\text{h}\cdot\text{m}^2}$ ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde 55 %.

Esim. Esimerkkiopintaloon halutaan paljon ikkunapinta-alaa. Tässä kohteessa rakennuksen lämpöhäviötä on mahdollista tasata vertailutaloa paremmilla ikkunoilla ($U=0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$) ja parantamalla ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa.

Perustiedot:

Rakennustilavuus 522 m^3

Maanpäälliset kerrosalat yhteensä 163 m^2

Julkisivupinta-ala 143 m^2 , $U_{C,\text{seinä}}=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$

Yläpohja 147 m^2

Alapohja (maanvastainen) 147 m^2 , $U_{C,\text{ap}}=0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$

Ikkunapinta-ala 49 m^2 $U_{C,\text{ikk}}=0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$

Ulko-ovet $8,2 \text{ m}^2$, $U_{C,\text{ovi}}=1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$

$q_{50}= 2,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$

LTO

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, 2018 (voimassa 1.1.2018 alkaen)

Rakennuskohde	
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	522 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	163 m ²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	147 m ²
Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat	m ²
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerros määrä	1 kerrosta

Laskentatuloksia

Julkisivupinta-ala on 143 m²
 Ikkunapinta-ala on 30 % maanpäällisestä kerrostasoalasta
 Ikkunapinta-ala on 34 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 99 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT						
<i>Lämpimät tilat</i>						
Ulkoseinä	110	86	0,17	0,17	18,8	14,6
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,40		-	-
Yläpohja	147	147	0,09	0,09	13,2	13,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)	147		0,16	0,16	23,5	23,5
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	24,5	49,0	1,00	0,80	24,5	39,2
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	8,2		1,00	1,00	8,2	8,2
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	437	437			88,2	98,7
<i>Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset</i>						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60		-	-
Yläpohja			0,14		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat			1,40		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-			-	-
VAIPAN ILMAVUODOT						
<i>Vuotoilma</i>						
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0069	0,0069	8,3	8,3
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO						
<i>Hallittu ilmanvaihto</i>						
Lämpimät tilat	0,059		55	71	31,8	20,5
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus						
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					128	128
Puolilämpimien tilojen					-	-

© Ympäristöministeriö, Tasauslasken 2018 (versio maaliskuun 2017).

¹⁾ Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

Rakennuskohde
Rakennuslupatunnus

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

Pinta-alat			
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisussa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- puoliämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rakennusvaipan ilmanpitävyys			
Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Enimmäisarvo Suunnitteluarvo
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4 2,00
- puoliämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4
Rakennuksen lämpöhäviöiden tase			
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vertailuarvo Suunnitteluarvo
- lämpimissä tiloissa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	128 W/K 128 W/K
- puoliämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Tarkistuslistan yhteenveto			
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

© Ympäristöministeriö, Tasaustietokirja 2018 (versio maaliskuu 2017)

Lisätietoja

Rakennuksen ilmanpitävyys
 Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvoa. Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde
 Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyt säävyöhykkeen 1 säätietoja. Kahden tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käytäntökojen painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käytäntökoja.

Huomautus
 Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on 50 m^2 tai enemmän.

L.8 Energiatehokkuus

L.8.1 E-luku

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017) määrää energiatehokkuudesta seuraavanlaisesti:

3 §

Rakennuksen energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset

Pääsuunnittelijan, erityissuunnittelijan ja rakennussuunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti huolehdittava uuden rakennuksen suunnittelusta siten, että se käyttötarkoituksensa mukaisesti on:

- 1) energiatehokkuudeltaan joko laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) tai rakenteellisen energiatehokkuuden mukainen;
- 2) on rakennuksen lämpöhäviöltään vähäiselle energiantarpeelle edellytykset luova;
- 3) on energiatehokas laskennalliselta kesäajan huonelämpötilaltaan, energiankäytön mittaamiseltaan, lämmön ja sähkön tehon tarpeeltaan sekä käytettäessä koneellista ilmanvaihtojärjestelmää myös ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholtaan.

2 luku

Energiatehokkuus

4 §

Laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun vaatimustasot käyttötarkoitukseluokittain

Laskennallinen energiatehokkuuden vertailulukku (E-luku), jonka yksikkönä käytetään kWhE/(m² a), on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa. Rakennuksen käyttötarkoitukseluokan mukaisesti laskettu E-luku ei saa ylittää seuraavia raja-arvoja:

Rakentamismääräyskokoelman julkaisussa *Energiatehokkuus, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta* on esitetty E-luvun laskemisen periaate. E-luvun laskeminen sisältää U_c -arvot ja tasauslaskelman, mutta siinä on myös paljon muita lisätekijöitä. E-luku on **laskennallinen vuosikulutus lämmitettyä nettoalaa kohden** eli se ei perustu todellisiin kulutuslukuihin. **Ostettu energia painotetaan** energiamuotojen kertoimilla. E-lukujen raja-arvot löytyvät *Ympäristöministeriön asetuksesta uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017)* ja energiamuotojen kertoimet löytyvät *Valtioneuvoston asetuksesta rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista (788/2017)*.

Jos rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on kaukolämpö, maalämpöpumppu tai ilma-vesilämpöpumppu, E-lukuvaatimus voidaan osoittaa täytetyksi vaihtoehtoisesti myös täyttämällä ns. rakenteellisen energiatehokkuuden vaatimukset. Käytännössä tämä tarkoittaa lämpöhäviön tasauslaskentaa normaalia tiukemmilla U-arvoilla, ilmanvuotoluvulla ja LTO-luvulla. Erillinen laskentaohje löytyy Rakentamismääräyskokoelmasta *Esimerkkilaskelmat 2018 Rakenteellisen energiatehokkuuden määräysten mukaisuuden osoittaminen*.

L.8.2 Energiatodistus

Energiatodistuksessa ilmoitetaan **E-luku** eli **laskennallinen** ostoenergiankulutus. Lisäksi ilmoitetaan **toteutunut** ostoenergian kulutus, jos se on saatavilla (ei siis uudisrakennuksille). Jo käytössä olevalle rakennukselle voidaan myös antaa **suosituksia** toimista, joilla mahdollisesti voitaisiin parantaa energiatehokkuutta. Energiatodistuksen laatimiseen on annettu *Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta (1048/2017)*.

Energiatodistuslaissa (50/2013) on säädetty seuraavasti:

*Rakennusta, rakennuksen 4 §:n 1 momentissa tarkoitettua osaa tai huoneistoa taikka niiden hallintaoikeutta **myytäessä tai vuokrattaessa** tulee esittelytilanteessa mahdollisen ostajan tai vuokralaisen nähtävillä olla voimassa oleva rakennuksen tai sen osan energiatodistus. Energiatodistus on annettava joko alkuperäisenä tai jäljennöksenä ostajalle tai vuokralaiselle.*

*Energiatodistus on **voimassa** kunnes se korvataan uudella energiatodistuksella, kuitenkin **enintään kymmenen vuotta** todistuksen laatimisesta.*

Energiatodistuksen saa laatia henkilö, jonka pätevyys on todettu ja voimassa, joka on rekisteröity energiatodistusten laatijoista pidettävään rekisteriin ja jonka osalta toiminnan harjoittamisen yleiset edellytykset täyttyvät.

*Energiatodistuksen laatijalla tulee olla energiatodistuksen laatimistehtävän vaativuustason mukainen soveltuva tekniikan alan **tutkinto** tai tämän korvaava **työkokemus** sekä energiatodistuksen laatijakokeen hyväksyttävällä suorituksella osoitettu perehtyneisyys energiatodistuksen laadintaan ja energiatodistusta koskevaan lainsäädäntöön.*

***Pätevyys** on voimassa määräajan, joka saa olla **enintään seitsemän vuotta** sitä koskevan päätöksen antamisesta. Pätevyyden uudistamiseksi energiatodistuksen laatijan tulee pitää ammattitaitoaan yllä energiatodistusten laatimisella, ammattitaitoa ylläpitävällä koulutuksella tai näihin rinnastettavalla tavalla.*

ENERGIATODISTUS 2018









Rakennuksen nimi ja osoite:

Pysyvä rakennustunnus:
Rakennuksen valmistumisvuosi:
Rakennuksen käyttötarkoituusluokka:

Todistustunnus:

Energiatodistus on laadittu

- Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haettaessa
- Uudelle rakennukselle käyttöönottoaiheessa
- Olemassa olevalle rakennukselle, havainnointikäynnin päivämäärä:

	Energiatodistuksen luokka
	
	
	
	
	
	
	

Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku
Uuden rakennuksen E-luvun vaatimus

$\text{kWh}_E/(\text{m}^2\text{vuosi})$

≤

Todistuksen laatija:

Yritys:

Sähköinen allekirjoitus:

Todistuksen laatimispäivä:

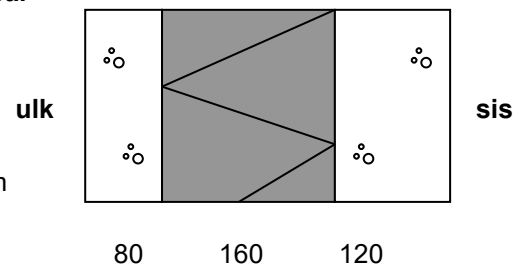
Viimeinen voimassaolopäivä:

L.9 Laskutehtävät

1. Laske sandwich-elementin U_C -arvo.

Laske myös lämpötilat rakenteen eri kohdissa.

- betoni 80 mm
- villa 160 mm
- betoni 120 mm
teräsansaat 16 kpl/m², \varnothing 4 mm



Lämpötila on sisällä 21 °C ja ulkona -10 °C.

Laske sama rakenne myös jollakin laskentaohjelmalla (esim. www.laskentapalvelut.fi). Saatko saman tuloksen?

2. Laske seinärakenteen U_c -arvo ja lämpötilajakauma, kun sisällä lämpötila on 21 °C ja ulkona –15 °C.

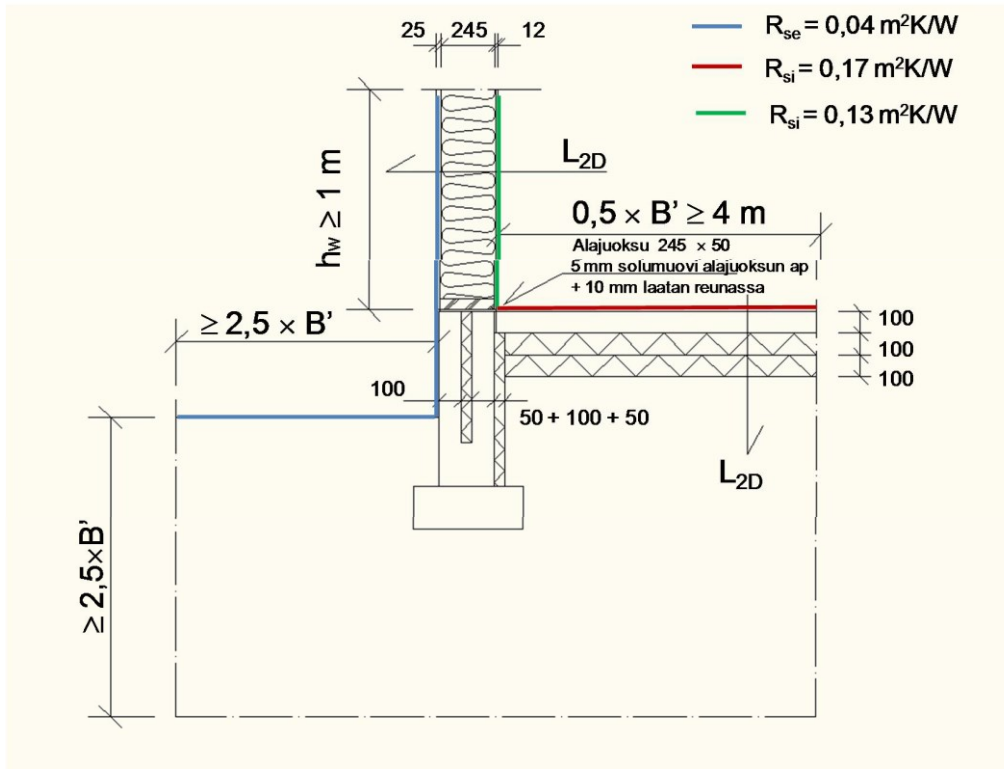
1. lautajulkisivu 28 mm
2. ilmarako 37 mm, hyvin tuuletettu
3. tuulensuojalevy 30 mm
4. puurunko+mineraalivilla 48 x 200 k600
5. höyrynsulkumuovi 0,2 mm, PE-kalvo
6. kipsilevy 13 mm
7. tasoite

Laske sama rakenne myös jollakin laskentaohjelmalla (esim. www.laskentapalvelut.fi). Saatko saman tuloksen?

3. Laske yläpohjan U_c -arvo ja lämpötilajakauma, kun sisällä lämpötila on 21 °C ja ulkona -15 °C .

1. peltikatto
2. aluskate
3. lauta
4. hyvin tuulettuva ilmaväli
5. puhallusvilla 500 mm
6. höyrynsulkumuovi 0,2 mm, PE-kalvo
7. tuulettumaton ilmarako 47 mm
8. kipsilevy 13 mm

4. Laske maanvaraisen lattian U_C -arvo.



Rakennuksen suorakaiteen muotoisen pohjan leveys on 13 m ja pituus 21 m.

Maan lämmönjohtavuus $\lambda_g = 2,0 \frac{W}{m \cdot C}$.

$$\lambda_{EPS} = 0,036 \frac{W}{m \cdot C}$$

$$\lambda_{bet} = 2,0 \frac{W}{m \cdot C}$$

$$\lambda_{harkko} = 0,3 \frac{W}{m \cdot C}$$

$$D = 0,4 \text{ m}$$

Laske sama rakenne myös jollakin laskentaohjelmalla (esim. www.laskentapalvelut.fi). Saatko saman tuloksen?

5. Laske kellariseinän U_c -arvo.

Kellarin maanvastainen seinä:

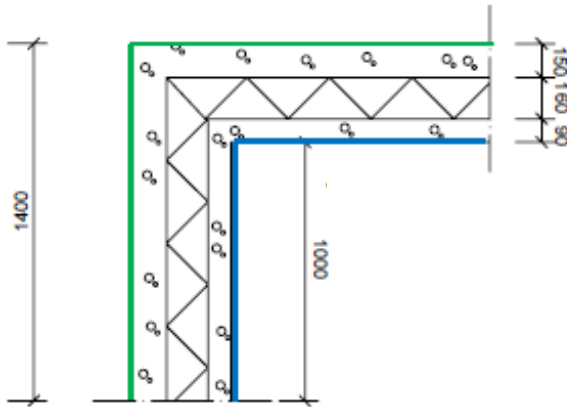
patolevy, 0,1 m harkko, 0,1 m EPS ja 0,1 m harkko.

Kellarin maanvastainen alapohja samanlainen kuin tehtävän 4 alapohja.

$z=1,8$ m

Laske sama rakenne myös jollakin laskentaohjelmalla (esim. www.laskentapalvelut.fi). Saatko saman tuloksen?

6. Laske kiviseinien (90 mm betoni, 160 mm uretaani, 150 mm betoni) välisen liitoksen (nurkka) aiheuttama lisäkonduktanssi. Vertaa lisäkonduktanssin arvoa taulukkoarvoon.



$L_{2D} = 0,3977 \text{ W/mK}$ (laskentaohjelmasta)

	d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
ulkopinta			
betoni	0,15	2,0	
uretaani	0,16	0,0286	
betoni	0,09	2,0	
sisäpinta			

7. Pientaloon halutaan paljon ikkunapinta-alaa. Tässä kohteessa rakennuksen lämpöhäviötä on mahdollista tasata vertailutaloa paremmalla yläpohjan eristämällä. Ilmanvuotoluvun suunnitteluarvona voi käyttää $2,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.

Perustiedot:

Yksikerroksinen

Rakennustilavuus 522 m^3

Maanpäälliset kerrosalat yhteensä 163 m^2

Julkisivupinta-ala 146 m^2 , $U_{C,seinä}=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ °C})$

Yläpohja 147 m^2

Alapohja (maanvastainen) 147 m^2 , $U_{C,ap}=0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ °C})$

Ikkunapinta-ala $29,5 \text{ m}^2$, $U_{C,ikk}=1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ °C})$

Ulko-ovet $8,2 \text{ m}^2$, $U_{C,ovi}=1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ °C})$

$q_{50}= 2,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$

LTO 55 %

Tee tasauslaskelma kyseiseen kohteeseen. Paljonko yläpohjaan tarvitaan lisäeristystä?

Paljonko lisäeristys maksaa?

Paljonko lisälämmöneristyksellä säästetään rahaa vuodessa?

Rakennuskohde
Rakennuslupatunnus
Rakennustyyppi
Pääsuunnittelija
Tasauslaskeelman tekijä
Päiväys
Tulos: Suunnitteluratkaisu <input type="checkbox"/> täyttää vaatimukset, <input type="checkbox"/> ei täytä vaatimuksia

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasot yhteensä	m ²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	m ²
Lämmitetty nettoala, puoliämpimät tilat	m ²
Rakennusluokka (1 - 9)	
Ilmanvaihdon huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus (ei tai on)	
Rakennuksen kerrosmäärä	kerrosta

Laskentatuloksia

Julkisivun pinta-ala on _____ m²
 Ikkunapinta-ala on _____ % maanpäällisestä kerrostasosta
 Ikkunapinta-ala on _____ % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on _____ % vertailutasosta (lämpimät tilat)
 Lämpöhäviö on _____ % vertailutasosta (puoliämpimät tilat)
 1 k. x = 35, 2 k. x = 24, 3-4 k. x = 20, 5- k. x = 15.

Perustiedot

RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä			0,17			
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,40			
Yläpohja			0,09			
Alapohja (ulkolimaan rajoittuva)			0,09			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17			
Alapohja (maanvastainen)			0,16			
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16			
Ikkunat			1,00			
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,00			
Kattoikkunat			1,00			
Kattovalokuvut			1,00			
Lämpimät tilat yhteensä						
Puoliämpimät tilat tai määrälliset rakennukset						
Ulkoseinä			0,26			
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60			
Yläpohja			0,14			
Alapohja (ulkolimaan rajoittuva)			0,14			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26			
Alapohja (maanvastainen)			0,24			
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24			
Ikkunat			1,40			
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40			
Kattoikkunat			1,40			
Kattovalokuvut			1,40			
Puoliämpimät tilat yhteensä						
	Ilmanvuotoluku, m ³ /h m ²		Vuotolimavirta, m ³ /s		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _v]		[Q _v = q _v / x · A/3600]		[H _{v,puoliamp} = 1200 · q _{v,s}]	
VAIPAN ILMAVUODOT	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0				-	-
Puoliämpimät tilat	2,0				-	-
	Polstolimavirta, m ³ /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosilyötysuhde, % [η _v]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _{v,p}]		[η _v]		[H _v = 1200 · q _{v,p} · (1-η _v)]	
ILMANVAIHTO	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto			55			
Lämpimät tilat			0			
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			55			
Puoliämpimät tilat			0			
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0			
					Ominaislämpöhäviö, W/K	
					[H = H _{v,puoliamp} + H _{v,vuotoilma} + H _v]	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu				
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö						
Puoliämpimien tilojen						

© Ympäristöministeriö, Tasauslasko 2017 (versio 1.0.2017)

¹⁾ Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

²⁾ Uiko-oviin ja tuuletusluukuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.

© Ympäristöministeriö, Tasaustekniikka 2017 (versio maaliskuuta 2017)

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista			
Pinta-alat			
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuisissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- lämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- puoliämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rakennusvaipan ilmanpitävyys			
Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- lämpimissä tiloissa			Enimmäisarvo Suunnitteluarvo
- puoliämpimissä tiloissa			4 4
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus			
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- lämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vertailuarvo Suunnitteluarvo
- puoliämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Tarkistuslistan yhteenveto			
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Lisätietoja			
Rakennuksen ilmanpitävyys			
Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvoa. Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.			
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde			
Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 säätiötietoja. Kahden tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan näin määritettyä poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.			
Huomautus			
Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on 50 m^2 tai enemmän.			

8. Kohteessa ei kiinnitetä erityistä huomiota vaipan ilmavuotoihin, jolloin ilmanvuotoluvun suunnitteluarvona käytetään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Tässä kohteessa rakennuksen lämpöhäviötä on mahdollista tasata vertailutaloa paremmalla yläpohjan ja ulkoseinän eristämällä.

Perustiedot:

Yksikerroksinen

Rakennustilavuus 522 m^3

Maanpäälliset kerrosalat yhteensä 163 m^2

Julkisivupinta-ala 146 m^2

Yläpohja 147 m^2

Alapohja (maanvastainen) 147 m^2 , $U_{C,ap}=0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$

Ikkunapinta-ala $24,5 \text{ m}^2$, $U_{C,ikk}=1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$

Ulko-ovet $8,2 \text{ m}^2$, $U_{C,ovi}=1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$

$q_{50}= 4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$

LTO 55 %

Tee tasauslaskelma kyseiseen kohteeseen. Millaisia U-arvoja valitsit yläpohjalle ja ulkoseinälle? Kuinka paksuja lisäeristyksiä tarvitaan?

Rakennuskohde	
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	<input type="checkbox"/> täyttää vaatimukset, <input type="checkbox"/> ei täytä vaatimuksia

Rakennuksen laajuustiedot		Laskentatuloksia	
Rakennustiivisyys	rak-m ³	Julkisivun pinta-ala on _____ m ²	
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	m ²	Ikkunapinta-ala on _____ % maanpäällisestä kerrostasosalasta	
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	m ²	Ikkunapinta-ala on _____ % julkisivun pinta-alaista	
Lämmitetty nettoala, puoiliämpimät tilat	m ²	Lämpöhäviö on _____ % vertailutasosta (lämpimät tilat)	
Rakennusluokka (1 - 9)		Lämpöhäviö on _____ % vertailutasosta (puoiliämpimät tilat)	
Ilmanvaihdon huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus (ei tal on)			
Rakennuksen kerrosmäärä	kerrosta	1 k. x = 35, 2 k. x = 24, 3-4 k. x = 20, 5- k. x = 15.	

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT						
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä			0,17			
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,40			
Yläpohja			0,09			
Alapohja (ulkolimaan rajoittuva)			0,09			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17			
Alapohja (maanvastainen)			0,16			
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16			
Ikkunat			1,00			
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,00			
Kattoikkunat			1,00			
Kattovalokuvut			1,00			
Lämpimät tilat yhteensä						
Puoiliämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset						
Ulkoseinä			0,26			
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60			
Yläpohja			0,14			
Alapohja (ulkolimaan rajoittuva)			0,14			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26			
Alapohja (maanvastainen)			0,24			
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24			
Ikkunat			1,40			
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40			
Kattoikkunat			1,40			
Kattovalokuvut			1,40			
Puoiliämpimät tilat yhteensä						
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)		Vuotollmavirta, m ³ /s		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _{v,0}]		[q _{v,v} = q _{v,0} / x - A/3600]		[H _{sp,0} = 1200 · q _{v,0}]	
VAIPAN ILMAVUODOT	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotolima						
Lämpimät tilat	2,0				-	-
Puoiliämpimät tilat	2,0				-	-
	Poistollmavirta, m ³ /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _v]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _{v,p}]				[H _v = 1200 · q _{v,p} · (1 - η _v)]	
ILMANVAIHTO	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat			55			
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0			
Puoiliämpimät tilat			55			
Puoiliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0			
					Ominaislämpöhäviö, W/K	
					[H = H _{sp,0} + H _{vuotolima} + H _v]	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu				
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö						
Puoiliämpimien tilojen						

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2017 (versio 1.0.0.0, 2017)

¹⁾ Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

²⁾ Uiko-ovien ja tuuletusluukuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.

© Ympäristöministeriö, Tasaustekniikka 2017 (versio maaliskuuta 2017)

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista			
Pinta-alat			
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuisissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- lämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- puoliämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rakennusvaipan ilmanpitävyys			
Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- lämpimissä tiloissa			Enimmäisarvo Suunnitteluarvo
			4
- puoliämpimissä tiloissa			4
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus			
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
- lämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vertailuarvo Suunnitteluarvo
- puoliämpimissä tiloissa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Tarkistuslistan yhteenveto			
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Lisätietoja			
Rakennuksen ilmanpitävyys			
Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvoa. Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.			
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde			
Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 säätiötietoja. Kahden tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.			
Huomautus			
Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on 50 m^2 tai enemmän.			

9. Kohde halutaan toteuttaa ilman lämmöntalteenottoa poistoilmasta (LTO). Ilmanvaihdon suuremman lämpöhäviön takia parannetaan rakennuksen vaippaa. Ilmanvuotoluvun suunnitteluarvona voi käyttää $2,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.

Perustiedot:

Yksikerroksinen

Rakennustilavuus 522 m^3

Maanpäälliset kerrosalat yhteensä 163 m^2

Julkisivupinta-ala 146 m^2

Yläpohja 147 m^2

Alapohja (maanvastainen) 147 m^2

Ikkunapinta-ala $24,5 \text{ m}^2$

Ulko-ovet $8,2 \text{ m}^2$

$q_{50} = 2,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$

LTO 0 %

Tee tasauslaskelma kyseiseen kohteeseen. Voit käyttää myös lämpöhäviön tasauslaskin 2018 -exceliä

(http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamis-maarayskokoelma/Energiatehokkuus).

Millaisia U-arvoja valitsit vaipan eri osille? Kuinka paksuja lisäeristyksiä tarvitaan?

Rakennuskohde	
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	<input type="checkbox"/> täyttää vaatimukset, <input type="checkbox"/> ei täytä vaatimuksia

Rakennuksen laajuustiedot		Laskentatuloksia	
Rakennustilavuus	rak-m ³	Julkisivun pinta-ala on _____ m ²	
Maanpäälliset kerrostasot yhteensä	m ²	Ikkunapinta-ala on _____ % maanpäällisestä kerrostasosta	
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	m ²	Ikkunapinta-ala on _____ % julkisivun pinta-ala	
Lämmitetty nettoala, puoliämpimät tilat	m ²	Lämpöhäviö on _____ % vertailutasosta (lämpimät tilat)	
Rakennusluokka (1 - 9)		Lämpöhäviö on _____ % vertailutasosta (puoliämpimät tilat)	
Ilmanvaihdon huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus (ei tal on)			
Rakennuksen kerrosmäärä	kerrosta	1 k. x = 35, 2 k. x = 24, 3-4 k. x = 20, 5- k. x = 15.	

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT						
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä			0,17			
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,40			
Yläpohja			0,09			
Alapohja (ulkolimaan rajoittuva)			0,09			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17			
Alapohja (maanvastainen)			0,16			
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16			
Ikkunat			1,00			
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,00			
Kattoikkunat			1,00			
Kattovalokuvut			1,00			
Lämpimät tilat yhteensä						
Puoliämpimät tilat tai määrälliset rakennukset						
Ulkoseinä			0,26			
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60			
Yläpohja			0,14			
Alapohja (ulkolimaan rajoittuva)			0,14			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26			
Alapohja (maanvastainen)			0,24			
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24			
Ikkunat			1,40			
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40			
Kattoikkunat			1,40			
Kattovalokuvut			1,40			
Puoliämpimät tilat yhteensä						
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)		Vuotolilmavirta, m ³ /s		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _{lm}]		[q _{lm} = q _{lm} / x · A/3600]		[H _{spolttava} = 1200 · q _{lm}]	
VAIPAN ILMAVUODOT	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotolilma						
Lämpimät tilat	2,0				-	-
Puoliämpimät tilat	2,0				-	-
	Poistolilmavirta, m ³ /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _v]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _{v,p}]		[η _v = 1200 · q _{v,p} · (1-η _v)]			
ILMANVAIHTO	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat			55			
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0			
Puoliämpimät tilat			55			
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0			
					Ominaislämpöhäviö, W/K	
					[H = H _{ohj} + H _{vuotolilma} + H _v]	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö						
Puoliämpimien tilojen						

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2017 (versio 1.0.2017)

¹⁾ Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.
²⁾ Uiko-ovien ja tuuletusluukuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

Pinta-alat
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta

	kyllä	ei

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuisissa

- lämpimissä tiloissa		
- puoliämpimissä tiloissa		

Rakennusvaipan ilmanpitävyys

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruisen

	kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnitteluarvo
- lämpimissä tiloissa			4	
- puoliämpimissä tiloissa			4	

Rakennuksen lämpöhäviöiden taseus

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruisen

	kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo
- lämpimissä tiloissa				
- puoliämpimissä tiloissa				

Tarkistuslistan yhteenvedo

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset	kyllä	ei

Lisätietoja

Rakennuksen ilmanpitävyys
Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvoa. Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde
Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 säätiötietoja. Kahden tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.

Huomautus
Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on 50 m^2 tai enemmän.

© Ympäristöministeriö, Tasaustietä 2017 (versio maaliskuun 2017)

10. Pientalossa halutaan käyttää ulkoseinissä massiivihirttä. Seinärakenteen U-arvo on 0,40 W/(m²K). Ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä.

Perustiedot:

Yksikerroksinen

Rakennustilavuus 522 m³

Maanpäälliset kerrosalat yhteensä 163 m²

Julkisivupinta-ala 146 m²

Yläpohja 147 m²

Alapohja (maanvastainen) 147 m²

Ikkunapinta-ala 24,5 m²

Ulko-ovet 8,2 m²

$$q_{50} = 4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$$

Tee tasauslaskelma kyseiseen kohteeseen. Voit käyttää myös lämpöhäviön tasauslaskin 2018 -exceliä

(http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamis-maarayskokoelma/Energiatehokkuus).

Rakennuskohde	
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	<input type="checkbox"/> täyttää vaatimukset, <input type="checkbox"/> ei täytä vaatimuksia

Rakennuksen laajuustiedot		Laskentatuloksia	
Rakennustilavuus	rak-m ³	Julkisivun pinta-ala on _____ m ²	
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	m ²	Ikkunapinta-ala on _____ % maanpäällisestä kerrostasosalasta	
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	m ²	Ikkunapinta-ala on _____ % julkisivun pinta-alaista	
Lämmitetty nettoala, puoliämpimät tilat	m ²	Lämpöhäviö on _____ % vertallustasosta (lämpimät tilat)	
Rakennusluokka (1 - 9)		Lämpöhäviö on _____ % vertallustasosta (puoliämpimät tilat)	
Ilmanvaihdon huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus (ei tai on)			
Rakennuksen kerrosmäärä	kerrosta	1 k. x = 35, 2 k. x = 24, 3-4 k. x = 20, 5- k. x = 15.	

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT						
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä			0,17			
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,40			
Yläpohja			0,09			
Alapohja (ulkolimaan rajoittuva)			0,09			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17			
Alapohja (maanvastainen)			0,16			
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16			
Ikkunat			1,00			
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,00			
Kattolikkunat			1,00			
Kattovalokuvut			1,00			
Lämpimät tilat yhteensä						
Puoliämpimät tilat tai määräraikaiset rakennukset						
Ulkoseinä			0,26			
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60			
Yläpohja			0,14			
Alapohja (ulkolimaan rajoittuva)			0,14			
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26			
Alapohja (maanvastainen)			0,24			
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24			
Ikkunat			1,40			
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40			
Kattolikkunat			1,40			
Kattovalokuvut			1,40			
Puoliämpimät tilat yhteensä						
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)		Vuotollmavirta, m ³ /s		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _{v,0}]		[q _{v,v} = q _{v,0} / x - A/3600]		[H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]	
VAIPAN ILMAVUODOT	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0				-	-
Puoliämpimät tilat	2,0				-	-
	Polstollmavirta, m ³ /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _v]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _{v,p}]		[η _v]		[H _v = 1200 · q _{v,p} · (1-η _v)]	
ILMANVAIHTO	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat			55			
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0			
Puoliämpimät tilat			55			
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0			
					Ominaislämpöhäviö, W/K	
					[H = H _{keh} + H _{vuotoilma} + H _v]	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu				
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö						
Puoliämpimien tilojen						

© Ympäristötekniikka, Tasauslaskin 2017 (versio 0.0.10.2017)

¹⁾ Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

²⁾ Uiko-ovien ja tuuletusluukkuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

Pinta-alat
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta

	kyllä	ei

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuisissa

- lämpimissä tiloissa		
- puoliämpimissä tiloissa		

Rakennusvaipan ilmanpitävyys

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen

	kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnitteluarvo
- lämpimissä tiloissa			4	
- puoliämpimissä tiloissa			4	

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

	kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo
- lämpimissä tiloissa				
- puoliämpimissä tiloissa				

Tarkistuslistan yhteenveto

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset

	kyllä	ei

Lisätietoja

Rakennuksen ilmanpitävyys
Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnitteluarvoa. Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde
Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 säätiöitä. Kahden tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.

Huomautus
Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on 50 m^2 tai enemmän.

© Ympäristöministeriö, Tasaustekniikka 2017 (versio maaliskuuta 2017)

11. Katso energiankulutuksen normittamiseen liittyvä tallenne.

Tampereella sijaitsevan kerrostalon (1959) lämmitysenergian kulutusta halutaan verrata vuosien 2015 ja 2017 välillä. Toteutunut lämpöenergian kulutus oli 565,8 MWh vuonna 2015 ja 454,4 MWh vuonna 2017. Rakennukseen tehtiin lämmitysverkon kuntotutkimus ja säätö/tasapainotus vuonna 2016. Oliko ko. toimenpiteestä hyötyä lämmitysenergiaa ajatellen?

Veden kulutus oli 4206,3 m³ vuonna 2015 ja 4491,9 m³ vuonna 2017.

Lähteet

132/1999 Maankäyttö- ja rakennuslaki

1010/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta

Hagentoft C-E. 2001. Introduction to Building Physics. Lund: Studentlitteratur. 422 s.

Björkholz D. 1997. LÄMPÖ JA KOSTEUS, Rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto. 150 s.

Vinha J., Valovirta I., Korpi M., Mikkilä A. & Käkelä P. 2005. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto, Talonrakennustekniikan laboratorio, Tutkimusraportti 129. 204 s.

RIL 255-2004. 2004. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta, Ohje standardien SFS-EN ISO 10456 ja SFS-EN ISO 6946 soveltamiseen. Kirjoittajat: Fellman, J., Heimala, A., Huttunen, J., Kokko, E., Pullola, J. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto ry. 115 s.

RIL 255-1-2014. 2014. Rakennusfysiikka I, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Kirjoittajat: Vinha J., Heljo J., Lähdesmäki K., Pentti M., Suonketo J., Ahola, P., Harjunalanen T., Hemmilä K., Huttunen P., Jokisalo J., Kaartinen M., Kalema T., Laamanen P., Laine K., Laukkarinen A., Laurila P., Lindberg P., Lund M., Manelius E., Mills C., Mäkitalo M., Ojanen M., Paavilainen J., Pansch B., Poutiainen J., Raad H., Ronkainen M., Ruuska T., Silvennoinen P., Sundman T. L., Tetri E., Tuominen E., Viitanen H., Wirtanen L. & Åström G. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto ry. 500 s.

Hautala, M., Peltonen, H. 1999. Insinöörin (AMK) FYSIIKKA OSA I, Lahden Teho-Opetus Oy

SFS-EN ISO 6946. 2017. Rakenne- ja rakennusosat. Lämmönvastus ja lämmönläpäisykerroin. Laskentamenetelmä.

SFS-EN ISO 10456. Rakennusaineet ja -tuotteet. Lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet. Taulukoidut suunnitteluarvot ja menetelmät ilmoitetun lämpöteknisen arvon ja lämpöteknisen suunnitteluarvon määrittämiseksi

SFS-EN ISO 13370. 2008. Thermal performance of buildings. Heat transfer via the ground. Calculation methods.

SFS-EN ISO 10077-1. Ikkunoiden, ovien ja luukkujen lämpöominaisuudet. Lämmönjohtavuuden laskenta. Osa 1: Yleistä.

SFS-EN 12667. Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Products of high and medium thermal resistance

Energiatehokkuus, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ympäristöministeriö 2018.

Tasauslaskentaopas 2018, Ympäristöministeriö 2017.

SFS-EN ISO 10211:2008. Thermal bridges in building construction. Heat flows and surface temperatures. Detailed calculations.

SFS-EN ISO 14683. 2008. Thermal bridges in building construction – Linear thermal transmittance – Simplified methods and default values.

Esimerkkilaskelmat 2018, Rakenteellisen energiatehokkuuden määräystenmukaisuuden osoittaminen, Ympäristöministeriö 2017

50/2013 Laki rakennuksen energiatodistuksesta



VALTIONEUVOSTO
STATSRÅDET

Valtioneuvoston kanslia

Statsrådets kansli

Opetus- ja kulttuuriministeriö

Undervisnings- och kulturministeriet

Sosiaali- ja terveysministeriö

Social- och hälsovårdsministeriet

Ympäristöministeriö

Miljöministeriet

