

Esimerkkilaskelma

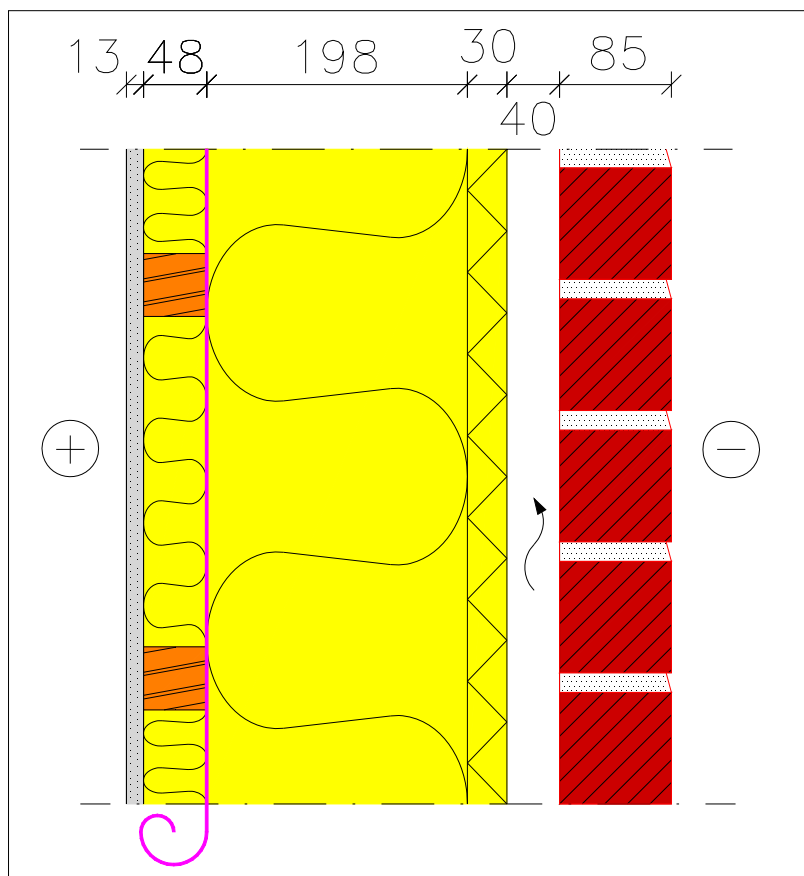
Ulkoseinän U-arvo ja vesihöyryn diffuusio

05.11.2015

Sisällysluettelo

1	LÄHTÖTIEDOT	- 3 -
2	KOKONAISLÄMMÖNVASTUKSEN YLÄRAJA, R'_T (EN 6946 s.13).....	- 4 -
3	KOKONAISLÄMMÖNVASTUKSEN ALARAJA, R''_T	- 7 -
4	RAKENNUSOSAN KOKONAISLÄMMÖNVASTUS	- 7 -
5	KORJAAMATON LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN	- 7 -
6	LÄMMÖNLÄPÄISYKERTOIMEN KORJAUKSET (EN 6946, LIITE D)	- 7 -
6.1	ILMARAOISTA JOHTUVA KORJAUS	- 8 -
6.2	MUURAUSSITEISTÄ JOHTUVA KORJAUS.....	- 8 -
6.3	LOPULLINEN U-ARVO.....	- 8 -

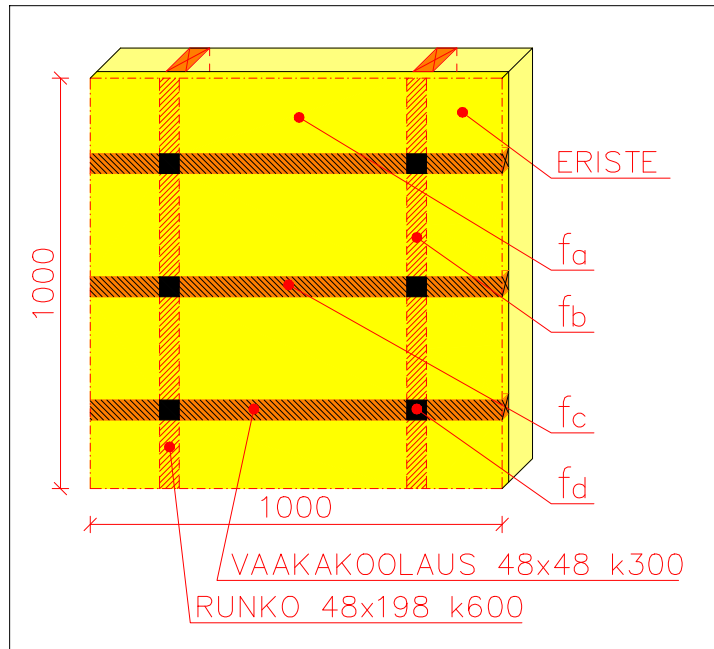
1 LÄHTÖTIEDOT



Rakenne: (sisältä ulospäin)

	<u>d [m]</u>	<u>λ [W/mK]</u>	<u>R=d/λ [(m²K)/W]</u>
1. sisäpintavastus, R_{si}	-	-	0,13
2. kipsilevy GEK	0,013	0,25	0,0520
3. vaakarunko 48x48 k300	0,048	0,13	0,3692
+ mineraalivilla Isover KL-33	0,048	0,033	1,4545
4. ilman- ja höyrynsulkumuovi	0,0002	0,33	0,0006
5. puurunko 198x48 k600	0,198	0,13	1,5231
+ villa Isover KL-37	0,198	0,037	5,3514
6. TS-villa Isover RKL-31	0,030	0,031	0,9677
+ tiilisiteet (RST) 4 kpl/m² (d=4 mm)	-	17	
7. tuuletusrako 40 mm	0,040	-	ei huom.
8. tiiliverhous 85 mm	0,085	-	ei huom.
ulkopintavastus, R_{se}	-	-	0,13

2 KOKONAISLÄMMÖNVASTUKSEN YLÄRAJA, R'_T (EN 6946 s.13)



Lasketaan rakenteen runkojen ja eristeiden osuus: (alue 1000 x 1000 mm²)

vaakakoolaus: 1000 mm / 300 mm = 3,333 kpl

pystyrunko: 1000 mm / 600 mm = 1,667 kpl

risteys alueet: 3,333 x 1,667 = 5,556 kpl

Pystyrunko:

$$f_b = \frac{1,667 \times 48 \times 1000 - (5,556 \times 48 \times 48)}{1000 \times 1000} = 0,067$$

Vaakarunko:

$$f_c = \frac{3,333 \times 48 \times 1000 - (5,556 \times 48 \times 48)}{1000 \times 1000} = 0,147$$

Risteyskohdat:

$$f_d = \frac{5,556 \times 48 \times 48}{1000 \times 1000} = 0,013$$

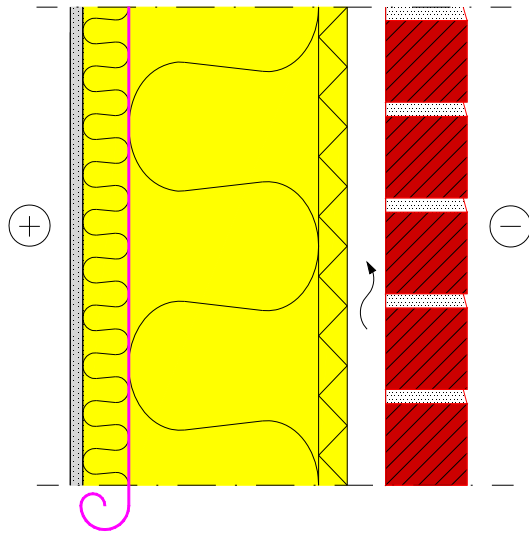
Eriste:

$$f_a = 1 - f_b - f_c - f_d = 0,773$$

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}}$$

(EN 6946 s.13)

(KL-33 + KL-37)

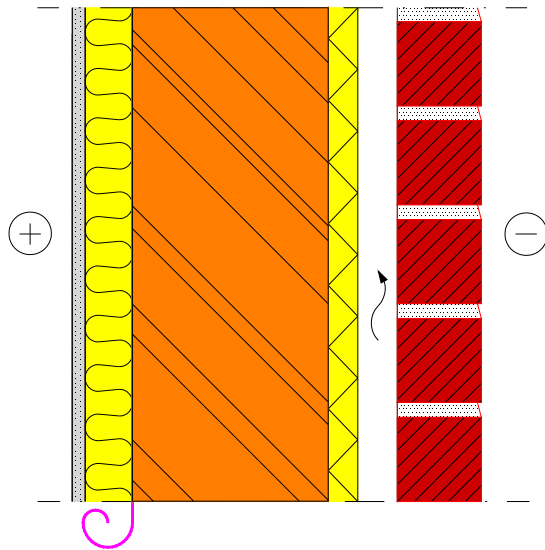


$$R_{Ta} = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{si} + R_{se} \Rightarrow R_{Ta} = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_n/\lambda_n + R_{si} + R_{se}$$

(KL-33 + KL-37)

$$\Rightarrow R_{Ta} = 0,013/0,25 + 0,048/0,033 + 0,0002/0,33 + 0,198/0,037 + 0,030/0,031 + 0,13 + 0,13 = 8,086$$

(KL-33 + pystyrunko)

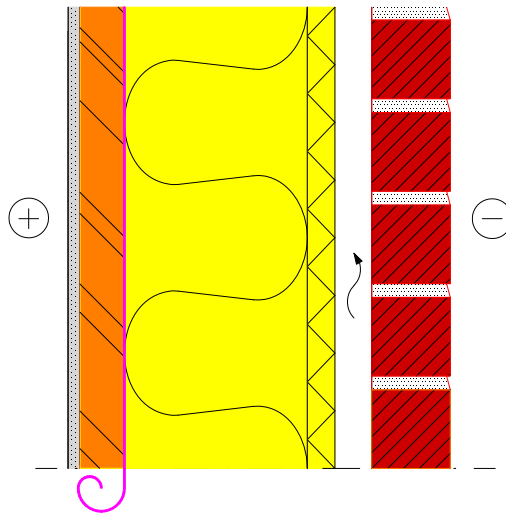


$$R_{Tb} = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{si} + R_{se} \Rightarrow R_{Ta} = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_n/\lambda_n + R_{si} + R_{se}$$

(KL-33 + pystyrunko)

$$\Rightarrow R_{Tb} = 0,013/0,25 + 0,048/0,033 + 0,0002/0,33 + 0,198/0,13 + 0,030/0,031 + 0,13 + 0,13 = 4,257$$

(vaakarunko + KL-37)

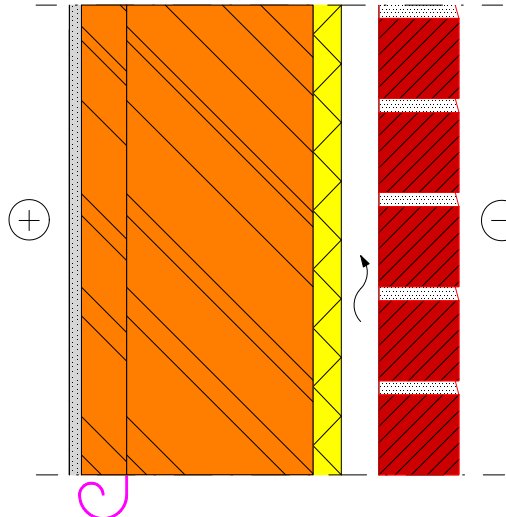


$$R_{Tc} = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{si} + R_{se} \Rightarrow R_{Ta} = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_n/\lambda_n + R_{si} + R_{se}$$

(vaakarunko + KL-37)

$$\Rightarrow R_{Tc} = 0,013/0,25 + 0,048/0,13 + 0,0002/0,33 + 0,198/0,037 + 0,030/0,031 + 0,13 + 0,13 = 7,000$$

(vaakarunko + pystyrunko)



$$R_{Td} = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{si} + R_{se} \Rightarrow R_{Ta} = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_n/\lambda_n + R_{si} + R_{se}$$

(vaakarunko + pystyrunko)

$$\Rightarrow R_{Td} = 0,013/0,25 + 0,048/0,13 + 0,0002/0,33 + 0,198/0,13 + 0,030/0,031 + 0,13 + 0,13 = 3,173$$

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \frac{f_c}{R_{Tc}} + \frac{f_d}{R_{Td}} \Rightarrow \frac{1}{R'_T} = \frac{0,773}{8,086} + \frac{0,067}{4,257} + \frac{0,147}{7,000} + \frac{0,013}{3,173} \Rightarrow \frac{1}{R'_T} = 0,136$$

$$\Rightarrow R'_T = 1/0,136 = 7,330 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

3 KOKONAISLÄMMÖNVASTUKSEN ALARAJA, R''_T

3.kerroksen materiaalien yhdistäminen rakenteen "pituus" suunnassa (vaakarunko + eriste):

$$\text{vaakarungon osuus, } f_{3a} : \quad 48 \text{ mm} / 300 \text{ mm} = 0,16$$

$$\text{villan osuus, } f_{3b} : \quad (300 \text{ mm} - 48 \text{ mm}) / 300 \text{ mm} = 0,84$$

$$\text{yhdistetty lämmönvastus, } R_{3j} = 1 / (f_{3a} / R_{3a} + f_{3b} / R_{3b})$$

$$\bullet \quad R_{3j} = 1 / (0,16 / 0,3692 + 0,84 / 1,4545) = \mathbf{0,9893}$$

5.kerroksen materiaalien yhdistäminen rakenteet "pituus" suunnassa (pystyrunko + eriste):

$$\text{pystyrungon osuus, } f_{5a} : \quad 48 \text{ mm} / 600 \text{ mm} = 0,08$$

$$\text{villan osuus, } f_{5b} : \quad (600 \text{ mm} - 48 \text{ mm}) / 600 \text{ mm} = 0,92$$

$$\text{yhdistetty lämmönvastus, } R_{5j} = 1 / (f_{5a} / R_{5a} + f_{5b} / R_{5b})$$

$$R_{5j} = 1 / (0,08 / 1,5231 + 0,92 / 5,3514) = \mathbf{4,4555}$$

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_j + \dots + R_n + R_{se} \quad (\text{EN 6946 s.13})$$

$$\Rightarrow R''_T = \mathbf{0,13 + 0,0520 + 0,9893 + 0,0006 + 4,4555 + 0,9677 + 0,13 = 6,725 \text{ (m}^2\text{K)/W}}$$

4 RAKENNUSOSAN KOKONAISLÄMMÖNVASTUS

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad (\text{EN 6946 s.12})$$

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \Rightarrow R_T = \frac{7,330 + 6,725}{2} = 7,028$$

5 KORJAAMATON LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (\text{EN 6946 s.14})$$

$$U = \frac{1}{R_T} \Rightarrow U = \frac{1}{7,028} = 0,1423 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

6 LÄMMÖNLÄPÄISYKERTOIMEN KORJAUKSET (EN 6946, LIITE D)

U-arvoon tehdään seuraavia tekijöitä koskevat korjaukset:

$$\bullet \quad \text{lämmöneristyksessä olevat raot, } \Delta U_g \quad (\text{EN 6946, s.27})$$

$$\bullet \quad \text{lämmöneristyskerrosta läpäisevät mekaaniset kiinnikkeet, } \Delta U_f \quad (\text{EN 6946, s.28})$$

6.1 ILMARAOISTA JOHTUVA KORJAUS

$$\Delta U_g = \Delta U \times \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \quad (EN 6946, s.27)$$

$\Delta U'' =$ 0,00...0,04 (taso 0, 1 ja 2) => tässä laskussa taso 1 eli 0,01 (EN 6946, s.27)

$R_1 =$ ilmarakojen sisältävän kerrosten lämmönvastusten summa

$R_{Th} =$ rakenteen kokonaislämmönvastus

$$R_1 = R_{3j} + R_{5j} + R_6 \Rightarrow R_1 = 0,9893 + 4,4555 + 0,9677 = 6,4125$$

$$\Delta U_g = 0,01 \times \left(\frac{6,4125}{7,028} \right)^2 = 0,008$$

6.2 MUURAUSSITEISTÄ JOHTUVA KORJAUS

$$\Delta U_f = \alpha \times \frac{\lambda_f \times A_f \times n_f}{d_0} \times \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \quad (EN 6946, s.28)$$

$\alpha = 0,8$ (kiinnikkeet läpäisee eristeen kokonaan)

$d_0 = 0,030$ m (läpäistävän lämmöneristeen paksuus)

tiilisiteen lämmönvastus, $\lambda_f = 17,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

tiilisiteiden määrä / m², $n_f = 4$ kpl / m²

tiilisiteiden poikkileikkauspinta-ala,

$$A_f = \pi \times \frac{d^2}{4} \Rightarrow \pi \times \frac{4^2}{4} = 12,566 \text{ mm}^2 \Rightarrow 12,566 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$R_1 = 0,9677 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ (Isover RKL-31)

$R_{T,h} = R_T = 7,028 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

$$\Rightarrow \Delta U_f = 0,8 \times \frac{17 \times 12,566 \times 10^{-6} \times 4}{0,030} \times \left(\frac{0,9677}{7,028} \right)^2 \Rightarrow \Delta U_f = 0,00043$$

6.3 LOPULLINEN U-ARVO

$$U_c = U + \Delta U_g + \Delta U_f \Rightarrow U_c = 0,1423 + 0,0083 + 0,000043 = 0,151 \Rightarrow U_c = 0,155 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

7 VESIHÖYRYN DIFFUUSIO

Sisälämpötila +21 °C (RH 50 %) ja ulkolämpötila -20 °C (RH 90 %).

	d	λ	Ri	Δt	t _n	vk	δp [x10 ⁴ (-12)]	Zx [x10 ⁹]	v	RH
AINE	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]	[°C]	[°C]	[g/m ³]	[kg/msPa]	[m ² sPa/kg]	[g/m ³]	[%]
					21	18,31			9,16	50 %
Rsi			0,13							
				0,67	20,33	17,62			9,16	52 %
kipsilevy ▼	0,013	0,250	0,052				19,4000	0,67010		
				0,27	20,06	17,34			9,10	53 %
KL-33 ▼	0,0480	0,033	1,4545				194,0000	0,24742		
				7,53	12,53	11,06			9,09	82 %
Polyeteenikalvo	0,000	0,330	0,0006				0,0019	105,26316		
				0,00	12,53	11,06			0,88	8 %
KL-37 ▼	0,198	0,037	5,351				194,0000	1,02062		
				27,69	-15,16	1,36			0,80	59 %
RKL-31 ▼	0,025	0,031	0,806				194,0000	0,12887		
				4,17	-19,33	0,92			0,79	85 %
Rse			0,13							
		Rt =	7,925		-20	0,88	ΣZp =	107,330x10 ⁹	0,79	90 %

Edellä olevan taulukon arvot laskettu seuraavilla kaavoilla:

$$\Delta t_n = R_n \times \frac{(t_s - t_u)}{R_T}$$

Esimerkiksi kipsilevyn GN13 ja polyeteenikalvon rajapinta:

$$\Delta t_n = R_n \times \frac{(t_s - t_u)}{R_T} \Rightarrow \Delta t_n = (0,052) \times \frac{(21 - (-20))}{7,925} = 0,2690 \approx 0,27$$

Vastaavasti t_n lasketaan niin, että edellisestä t_n:stä vähennetään Δt_n.

$$t_n - \Delta t_n = 20,33 \text{ °C} - 0,27 \text{ °C} = 20,06 \text{ °C (kipsilevyn ja KL-33 rajapinnan lämpötila)}$$

Kyllästysvesihöyrypitoisuus lasketaan alla olevalla kaavalla. Se pätee seuraavalla lämpötila-alueella -20 °C... +80 °C (Nevander / Elmarsson):

$$v_k = 4,85 + 3,47 \times \frac{t}{10} + 0,945 \times \left(\frac{t}{10}\right)^2 + 0,158 \times \left(\frac{t}{10}\right)^3 + 0,0281 \times \left(\frac{t}{10}\right)^4$$

HUOM! Alle -20 °C olevat arvot lasketaan kaavalla:

$$v_k = \frac{101,325 \times 10^3 \times e^{\left(70,4347 - \frac{7362,7}{T} + 6,95208 \times 10^{-3} \times T - 9 \times \ln(T)\right)}}{461,4 \times 10^{-3} \times T}$$

$$T = 273 \text{ K} + \text{tarkasteltava lämpötila}$$

δ_p :n arvo saadaan valmistajalta ja Z_i :n arvo voidaan laskea (jos ei ole saatu):

$$\boxed{Z_p = \frac{d}{\delta_p}} \quad \boxed{W_p = \frac{1}{Z_p}} \quad \boxed{\mu \approx \frac{1,94 \times 10^{-10}}{\delta_p}} \quad \boxed{s_d = \mu \times d} \quad \boxed{s_d = Z_p \times 1,94 \times 10^{-10}}$$

Vesihöyrynpitoisuus lasketaan kaavalla (esim. höyrynsulun ja KL-37 rajapinta):

$$\boxed{v_x = v_s - \frac{\sum Z_x}{\sum Z_p} \times (v_s - v_u)} \Rightarrow v_x = 9,16 - \frac{0,670 + 0,247 + 105,263}{107,33} \times (9,16 - 0,79) = 0,88$$

DOF-lämpö

U-arvo: 0,153 W/m²K

