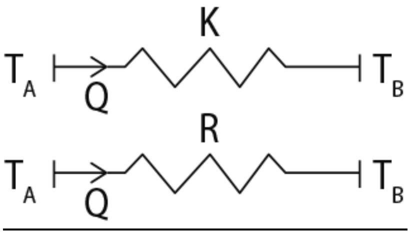
Lösningar till uppgifter för

Byggnadsfysik-Så fungerar hus

Carl-Eric Hagentoft

1



Lösning med värmemotstånd

Använd (4.5):

$Q = A\frac{T_A - T_B}{R}$, med (4.4):

$$Q = A\frac{T_A - T_B}{d/\lambda}$$

a) 1 500W b) 100W c) 50W d) 1 000W

Lösning med konduktans

Använd (4.6):

$$Q = K \cdot \left(T_A - T_B\right) \quad K = \frac{\lambda A}{d}$$

$$\Rightarrow \quad Q = \frac{\lambda A}{d} \cdot \left(T_A - T_B\right) = A\frac{\left(T_A - T_B\right)}{d/\lambda}$$

2

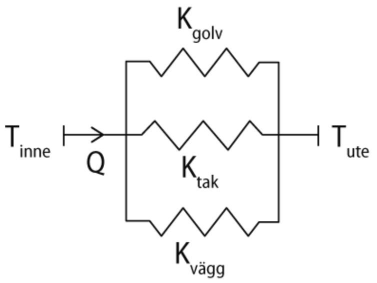
Använd (4.6):

a)

$$Q = K_{vägg} \cdot (T_{inne} - T_{ute}) + K_{tak} \cdot (T_{inne} - T_{ute}) + K_{golv} \cdot (T_{inne} - T_{ute})$$

$$\Leftrightarrow$$

$$Q = \left(K_{vägg} + K_{tak} + K_{golv}\right) \cdot (T_{inne} - T_{ute}) = K \cdot (T_{inne} - T_{ute})$$



Se också räkneregler för kretsar i Appendix C.

$$K = 48 + 32 + 24 \text{ W/K} = 104 \text{ W/K}$$
$$Q = 104 \cdot (20 - 0) = 2080 \text{ W}$$

b)

Vi har följande parallella konduktanser i värmekretsen:

Vi använder (4.7):

$$K_{vägg} = \frac{A_{vägg}}{R_{vägg}} = \frac{0.85 \cdot (2 \cdot 8 + 2 \cdot 12) \cdot 2.4}{5} = 16,32 \text{ W/K}$$

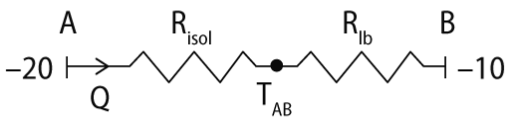
$$K_{fönst,dörr} = \frac{A_{fönst,dörr}}{R_{fönst,dörr}} = \frac{0.15 \cdot (2 \cdot 8 + 2 \cdot 12) \cdot 2.4}{0.5} = 28,8 \text{ W/K}$$

$$K_{tak} = \frac{A_{tak}}{R_{tak}} = \frac{8 \cdot 12}{6} = 16 \text{ W/K}$$

$$K_{golv} = \frac{A_{golv}}{R_{golv}} = \frac{8 \cdot 12}{4} = 24 \text{ W/K}$$

$$\text{Q=}\left(K_{vägg} + K_{fönst,dörr} + K_{tak} + K_{golv}\right) \cdot \left(T_{inne} - T_{ute}\right) = 85.12 \cdot 20 = 1\,702 \text{ W}$$

3



<u>Lösning med värmemotstånd</u>

Använd (4.9):

$$R_{isol} = \frac{d_{isol}}{\lambda_{isol}} = \frac{0.1}{0.033} = 3.03\ \mathrm{m^2K/W}$$

$$R_{lb} = \frac{d_{lb}}{\lambda_{lb}} = \frac{0.1}{0.14} = 0.71\ \mathrm{m^2K/W}$$

Använd (4.11):

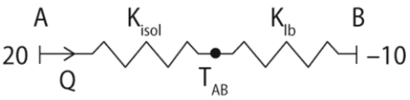
$$Q = A\frac{T_A - T_B}{R} \qquad R = R_{isol} + R_{lb}$$

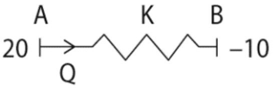
$$Q = 5\frac{20-(-10)}{3.74} = 40.1\ \mathrm{W}$$

Använd (4.12):

$$T_{AB} = T_A + \frac{R_{isol}}{R_{isol}+R_{lb}}\left(T_B - T_A\right) = 20 + \frac{3.03}{3.74}\left(-10-20\right) = -4.3\ °\mathrm{C}$$

<u>Lösning med konduktanser</u>





Använd (4.14-15):

$$Q = K\cdot\left(T_A - T_B\right) \quad K = \frac{1}{1/K_{isol} + 1/K_{lb}}\left(= \frac{K_{isol}\cdot K_{lb}}{K_{isol}+K_{lb}}\right)$$

Använd (4.13):

$$K_{isol} = \frac{\lambda_{isol}A}{d_{isol}} = \frac{0.033\cdot 5}{0.1} = 1.65\ \mathrm{W/K}$$

$$K_{lb} = \frac{\lambda_{lb}A}{d_{lb}} = \frac{0.14\cdot 5}{0.1} = 7.0\ \mathrm{W/K}$$

Använd (4.15):

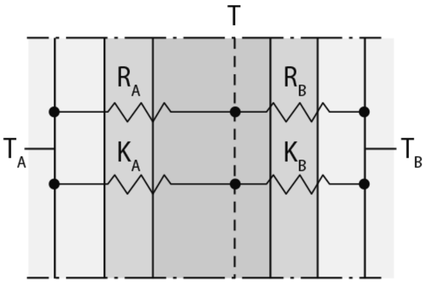
$$K = \frac{1}{1/K_{isol} + 1/K_{lb}} = \frac{1}{1/1.65 + 1/7} = 1.335\ \mathrm{W/K}$$

$$Q = 1.335\cdot\left(20-(-10)\right) = 40.1\ \mathrm{W}$$

Använd (4.16):

$$T_{AB} = \frac{K_{isol}\cdot T_A + K_{lb}\cdot T_B}{K_{isol}+K_{lb}} = \frac{1.65\cdot 20 + 7\cdot(-10)}{1.65+7} = -4.3\ °\mathrm{C}$$

4



Lösning med värmemotstånd

Använd (4.9):

$$R_{tegel} = \frac{d_{tegel}}{\lambda_{tegel}} = \frac{0.12}{0.6} = 0.2 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{asf} = \frac{d_{asf}}{\lambda_{asf}} = \frac{0.02}{0.066} = 0.303 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{isol} = \frac{d_{isol}}{\lambda_{isol}} = \frac{0.14}{0.036} = 3.89 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{gips} = \frac{d_{gips}}{\lambda_{gips}} = \frac{0.013}{0.22} = 0.059 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Linjär temperaturfördelning mellan temperaturer i gränsytor. Använd beteckningar och beskrivning i Figur 4B.2 (s 59). Först summering av motstånd enligt (4.11):

$$R_A = R_{tegel} = 0.2 \text{ m}^2\text{K/W} \quad R_B = R_{asf} + R_{isol} + R_{gips} = 4.25 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Vi använder (4.12) för att få fram temperaturen mellan tegel och asfaboard:

$$T_A = -10 \;\; T_B = 20$$

$$T_{AB} = \frac{R_B \cdot T_A + R_A \cdot T_B}{R_A + R_B} = \frac{4.25 \cdot (-10) + 0.2 \cdot 20}{4.45} = -8.7 \text{ °C}$$

Temperaturen mellan asfaboard och mineralull:

$$R_A = R_{tegel} + R_{asf} = 0.503 \text{ m}^2\text{K/W} \quad R_B = R_{isol} + R_{gips} = 3.95 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$T_{AB} = \frac{3.95 \cdot (-10) + 0.503 \cdot 20}{4.45} = -6.6 \text{ °C}$$

Temperaturen mellan mineralull och gips:

$$R_A = R_{tegel} + R_{asf} + R_{isol} = 4.39 \text{ m}^2\text{K/W} \quad R_B = R_{gips} = 0.059 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$T_{AB} = \frac{0.059 \cdot (-10) + 4.39 \cdot 20}{4.45} = 19.6\ °\text{C}$$

<u>Lösning med konduktanser</u>

Vi sätter arean A=1m^2.

Med (4.13):

$$K_{tegel} = \frac{\lambda_{tegel} A}{d_{tegel}} = \frac{0.6 \cdot 1}{0.12} = 5\ \text{W/K}$$

$$K_{asfa} = \frac{\lambda_{asfa} A}{d_{asfa}} = \frac{0.066 \cdot 1}{0.02} = 3.3\ \text{W/K}$$

$$K_{isol} = \frac{\lambda_{isol} A}{d_{isol}} = \frac{0.036 \cdot 1}{0.14} = 0.257\ \text{W/K}$$

$$K_{gips} = \frac{\lambda_{gips} A}{d_{gips}} = \frac{0.22 \cdot 1}{0.013} = 16.9\ \text{W/K}$$

Temperaturen i gränsskikten kan bestämmas med hjälp av figur 4B.2 och (4.16):

Mellan tegel och asfaboard:

$$T_{AB} = \frac{K_A \cdot T_A + K_B \cdot T_B}{K_A + K_B}$$

$$K_A = K_{tegel} = 5\ \text{W/K}$$

$$K_B = \frac{1}{1/K_{asfa} + 1/K_{isol} + 1/K_{gips}} = \frac{1}{1/3.3 + 1/0.257 + 1/16.9} = 0.235\ \text{W/K}$$

$$T_{AB} = \frac{5 \cdot (-10) + 0.235 \cdot 20}{5 + 0.235} = -8.7\ °\text{C}$$

Resterande gränstemperaturer kan göras på liknande sätt, men vi ska nu göra en blandad beskrivning och utnyttja de tidigare framräknade värmemotstånden för att beräkna konduktanserna. (Vid varje givet problem kan det vara bäst att nyttja den i ditt tycke enklaste metoden).

Vi använder (4.7). För konduktansen för tegel och asfaboard:

$$K_A = \frac{A}{R_A} = \frac{1}{R_{tegel}} = \frac{1}{0.2} = 5\ \text{W/K}$$

$$K_B = \frac{A}{R_B} = \frac{1}{R_{asf} + R_{isol} + R_{gips}} = \frac{1}{4.25} = 0.235\ \text{W/K}$$

Vilket förstås stämmer med den första beräkningen av konduktanserna.

5

a) (4.19) $\alpha_k = 6 + 4 \cdot 4 = 22 \text{ W/m}^2\text{K}$
b) (4.20) $\alpha_k = 5 + 4.5 \cdot 6 - 0.14 \cdot 36 = 27.0 \text{ W/m}^2\text{K}$
c) (4.21) $\alpha_k = 5 + 1.5 \cdot 6 = 14 \text{ W/m}^2\text{K}$
d) (4.22) $\alpha_k = 2 \cdot 3^{1/4} = 2.6 \text{ W/m}^2\text{K}$
e) (4.22) $\alpha_k = 0.5 \cdot 4^{1/4} = 0.71 \text{ W/m}^2\text{K}$
f) (4.17)
$Q_k = K_k \cdot \left(T_y - T_l\right) \quad K_k = A \cdot \alpha_k$
$K_k = 5 \cdot 14 = 70 \text{ W/K}$
$Q_k = 70 \cdot 3 = 210 \text{ W}$

6

Med (4.24)

$$Q_{in} = A \cdot \tau \cdot I_0 \cdot \cos(\varphi)$$

Figur 4D.1 ger:

$$\tau_{1glas} = 0.85 \quad \tau_{2glas} = 0.75 \quad \tau_{3glas} = 0.61$$

Värmeförlusten genom fönstret, (4.11):

$$Q_{ut} = \frac{A}{R} \cdot \left(T_{inne} - T_{ute}\right)$$

$$Q_{netto\,ut} = Q_{ut} - Q_{in} = A \cdot \left(\frac{\left(T_{inne} - T_{ute}\right)}{R} - \tau I_0 \cos(0) \right) = 2.5 \cdot \left(\frac{30}{R} - \tau \cdot 300 \right)$$

Med insatta värden:

$$Q_{netto\,ut,1glas} = 2.5 \cdot \left(\frac{30}{0.17} - 0.85 \cdot 300 \right) = -196.3 \text{ W}$$

$$Q_{netto\,ut,2glas} = 2.5 \cdot \left(\frac{30}{0.35} - 0.75 \cdot 300 \right) = -348.2 \text{ W}$$

$$Q_{netto\,ut,3glas} = 2.5 \cdot \left(\frac{30}{0.53} - 0.61 \cdot 300 \right) = -316.0 \text{ W}$$

7

Vi nyttjar (4.27) och (4.28) med $A_1 = A_2 = A$:

$$\begin{cases} Q_{12} = 4\varepsilon_{12} \cdot \sigma_s T_m^3 A\left(T_1 - T_2\right) \\ \varepsilon_{12} = \dfrac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} \end{cases}$$

$\sigma_s = 5.67 \cdot 10^{-8}\ \text{W/m}^2\text{K}^4$

$$T_m = \frac{293+283}{2} = 288\ \text{K}$$

a) $\varepsilon_{12} = \dfrac{1}{1/0.9 + 1/0.9 - 1} = 0.82 \quad Q_{12} = 443.3\ \text{W}$

b) $\varepsilon_{12} = \dfrac{1}{1/0.9 + 1/0.2 - 1} = 0.195 \quad Q_{12} = 106.0\ \text{W}$

c) $\varepsilon_{12} = \dfrac{1}{1/0.2 + 1/0.2 - 1} = 0.11 \quad Q_{12} = 60.2\ \text{W}$

8

Formel (4.27) ger:

$$Q_{12} = \alpha_s A_1 \left(T_1 - T_2\right)$$

$$\alpha_s = \frac{4\sigma_s T_m^3}{(1-\varepsilon_1)/\varepsilon_1 + 1 + \dfrac{A_1}{A_2}(1-\varepsilon_1)/\varepsilon_1}$$

$T_1 = 273 + 40 = 313\ \text{K} \quad T_2 = 273 + 21 = 294\ \text{K} \quad T_m = 273 + 30.5 = 303.5\ \text{K}$

$A_1 = 0.8\ \text{m}^2 \ A_2 = 50\ \text{m}^2 \quad \varepsilon_1 = 0.97 \quad \varepsilon_2 = 0.9$

$\Rightarrow Q_{12} = 93.3\ \text{W}$

Om radiatorns temperatur höjs till 80 °C ändras den drivande temperaturskillnaden (mer än 3 gånger större) mellan radiatorn och rummet samt medeltemperaturen:

$T_1 = 273 + 80 = 353\ \text{K} \quad T_2 = 273 + 21 = 294\ \text{K} \quad T_m = 273 + 30.5 = 323.5\ \text{K}$

$\Rightarrow Q_{12} = 350.9\ \text{W}$

9

Vi använder (4.32-34) med $\alpha_s = 0$ eftersom den långvågiga strålningen kan försummas:

$$Q = A \cdot \left(\alpha_k + \frac{\lambda_{luft}}{d}\right) \cdot \left(T_1 - T_2\right)$$

$\alpha_k = 1.5\ \text{W/m}^2\text{K} \quad \lambda_{luft} = 0.024\ \text{W/mK}$

d=0.04 m A=8 m^2 $T_1 - T_2 = 22\ °\text{C}$

$\Rightarrow Q = 370\ \text{W}$

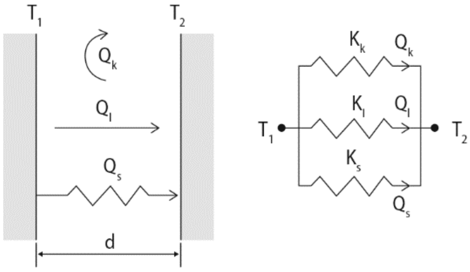
Från figur 4F.2:

$\alpha_{kl} = 2.0$ W/m^{2}K

Enligt (4.33-34) med $\alpha_s = 0$:

$Q = A\alpha_{kl} \cdot (T_1 - T_2) = 352$ W

10



Vertikal oventilerad spalt

Vi använder (4.33-34):

$$\begin{cases} Q = K \cdot (T_1 - T_2) \\ K = A \cdot (\alpha_s + \alpha_{kl}) \qquad (= K_s + K_k + K_l) \end{cases}$$

För strålning fås, (4.28):

$$\alpha_s = 4\varepsilon_{12} \cdot \sigma_s T_m^3$$
$$T_m = 273 + 18 = 291\,\text{K}$$

$$\varepsilon_{12} = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} = \frac{1}{1/0.9 + 1/0.93 - 1} = 0.84$$
$$\Rightarrow \alpha_s = 4.71 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$\alpha_{kl} = 1.4$ W/m^{2}K $d = 0.05$ m

$$\text{Q=A} \cdot (4.71 + 1.4)(T_1 - T_2) = \text{A} \cdot 6.11 \cdot (T_1 - T_2)$$

Med (4.36):

$$Q = \frac{A}{R_{spalt}}(T_1 - T_2)$$

$$\Rightarrow R_{spalt} = \frac{1}{6.11} = 0.164 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Horisontell oventilerad spalt

$$Q = A \cdot \left(\alpha_s + \alpha_k + \frac{\lambda_{luft}}{d} \right) \cdot \left(T_1 - T_2 \right)$$

$\alpha_s = 4.71$ W/m^{2}K enligt tidigare och:

$$\alpha_k = 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$$
$$\frac{\lambda_{luft}}{d} = \frac{0.026}{0.05} = 0.52 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q = A \cdot \left(4.71 + 0.5 + 0.52\right) \cdot \left(T_1 - T_2\right) = A \cdot 5.73 \cdot \left(T_1 - T_2\right)$$

$$\Rightarrow R_{spalt} = \frac{1}{5.73} = 0.174 \text{ W/m}^2\text{K}$$

11

Enligt (4.39-41):

$$Q = \frac{A}{R_s} \cdot \left(T_{ute} - T_{yta} \right)$$

a) $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K / W} \quad \text{Q} = \frac{10}{0.04} \cdot 1 = 250 \text{ W}$

b) $R_{si} = 0.1 \text{ m}^2\text{K / W} \quad \text{Q} = \frac{70}{0.1} \cdot 1 = 700 \text{ W}$

12

Ekvivalent temperatur definieras i (4.45), med I_0=0:

$$T_{eq} = T_l + \frac{\alpha_s}{\alpha_s + \alpha_k} \left(T_{ms} - T_l \right)$$

Enligt (4.46):

$$T_{ms} = 1.2 \cdot (-5) - 14 = -20 \text{ °C}$$

Med (4.29): (OBS! feltryck i första upplagan, det ska vara T_m^3)

$$\alpha_s = 4 \varepsilon_1 \sigma_s T_m^3$$
$$T_m = \frac{(273 - 20) + (273 - 5)}{2} = 260.5 \text{ K}$$
$$\alpha_c = 20 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \varepsilon_1 = 0.97$$
$$\Rightarrow T_{eq} = -7.4 \text{ °C}$$

OBS! Kallare än uteluften!

13

Med (4.45), (4.23) och (4.41) samt vi antar att $T_{ms} = T_l$:

$$T_{eq} = T_l + \frac{1}{\alpha}\alpha_{ks} \cdot I_{sol-in}$$

$$T_{eq} = 0 + \frac{1}{25}0.9 \cdot 600 = 21.6 \text{ °C}$$

14

Med (4.45):

$$T_{eq} = T_l + R_{se} \cdot \left(\alpha_s \left(T_{ms} - T_l \right) + \frac{I_0}{A} \right)$$

Här är I_0 effekten av den absorberade solstrålning, (4.23):

$$I_0 = A \cdot \alpha_{ks} \cdot I_{sol-in}$$

Med $\alpha_{ks} = 0.85$ får vi på de olika byggnadsdelarna:

$$\frac{I_0}{A} = 680 \text{ W/m}^2 \quad 510 \text{ W/m}^2 \quad 170 \text{ W/m}^2$$

Vi antar $T_{ms} = T_l$, då blir:

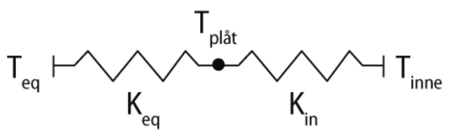
$$T_{eq} = T_l + R_{se} \cdot \frac{I_0}{A}$$

Vilket ger:

Tak: $T_{eq} = 18 + 0.04 \cdot 680 = 45.2$ °C

Södervägg: $T_{eq} = 18 + 0.04 \cdot 510 = 38.4$ °C

Övriga väggar: $T_{eq} = 18 + 0.04 \cdot 170 = 24.8$ °C



Enligt (4.16):

$$T_{plåt} = \frac{K_{eq} \cdot T_{eq} + K_{in} \cdot T_{inne}}{K_{eq} + K_{in}} = \frac{A / R_{se} \cdot T_{eq} + A / R_{si} \cdot T_{inne}}{A / R_{se} + A / R_{si}} = \frac{R_{si} \cdot T_{eq} + R_{se} \cdot T_{inne}}{R_{si} + R_{se}}$$

Med insatta värden:

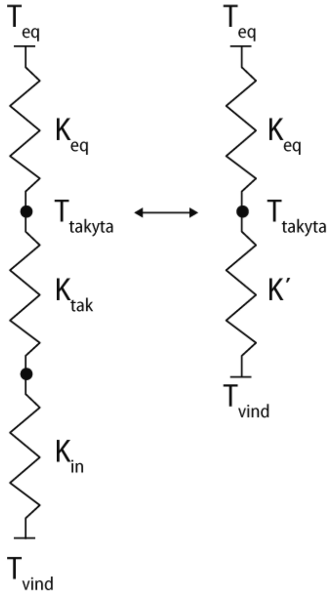
Tak: $T_{plåt} = 40.7$ °C

Södervägg: $T_{plåt} = 35.5$ °C

Övriga väggar: $T_{plåt} = 25.1$ °C

15

Värmeströmningskretsen ser ut enligt:



Med (4.45), (4.23) och eftersom långvågig strålning kan försummas $(\alpha_s = 0)$:

$$T_{eq} = T_l + \frac{1}{\alpha_k}\alpha_{ks} \cdot \frac{I_0}{A}$$

Med insatta värden:

$$T_{eq} = 8 + \frac{1}{20}0.93 \cdot 600 = 35.9 \text{ °C}$$

Med (4.44)

$$K_{eq} = \alpha \cdot A = \alpha_k \cdot A = 20A$$

Från (4.7):

$$K_{tak} = \frac{A}{R_{tak}} = \frac{A}{0.2} = 5A$$

Med (4.40-41):

$$K_{in} = \alpha \cdot A = 4A$$

Kretsen reduceras till:

FIGUR

$$K' = \frac{1}{1/K_{tak} + 1/K_{in}} = \frac{1}{1/(5A) + 1/(4A)} = \frac{A}{1/5 + 1/4} = \frac{A}{0.45}$$

Med (4.16):

$$T_{takyta} = \frac{K_{eq} \cdot T_{eq} + K' \cdot T_{vind}}{K_{eq} + K'} = \frac{20A \cdot 35.9 + (A/0.45) \cdot 11}{(20 + 1/0,45)A} = \frac{20 \cdot 35.9 + (1/0.45) \cdot 11}{(20 + 1/0,45)} = 33.4 \text{ °C}$$

16

Med (4.51):

$$\frac{1}{U} = R_{tot} = R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{8} + \frac{0.015}{1} + \frac{0.05}{0.036} + \frac{0.15}{0.11} + \frac{1}{25} = 2.94 \text{ m}^2\text{K / W}$$

$$\Rightarrow U = \frac{1}{R_{tot}} = 0.340 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Om vi vill uppnå ett bättre U-värde genom extra isolering:

$$U = 0.24 = \frac{1}{R_{tot,ny}} = \frac{1}{R_{tot,gammal} + R_{ex}}$$

$$\Rightarrow R_{ex} = \frac{1}{0.24} - R_{tot,gammal} = 4.167 - 2.938 = 1.23 \text{ m}^2\text{K / W}$$

$$R_{ex} = \frac{d_{cellplast}}{0.033} + 0.06 = 1.23 \Rightarrow d_{cellplast} = 0.039 \text{ m}$$

17

Från (4.45), (4.23) och (4.44) med $T_{ms} = T_l$:

$$T_{eq} = T_l + \frac{1}{\alpha} \alpha_{ks} \cdot \frac{I_0}{A}$$

$$\Rightarrow T_{eq} = 7 + \frac{1}{25} 0.75 \cdot 450 = 20.5 \text{ °C}$$

Med (4.49):

$$R = R_{si} + R_{vägg} + R_{se} = \frac{1}{8} + 4 + \frac{1}{25} = 4.165 \text{ m}^2\text{K / W}$$

Med (4.49-52):

$$Q = A \frac{T_{inne} - T_{eq}}{R} = 10 \frac{20 - 20.5}{4.165} = -1.2 \text{ W}$$

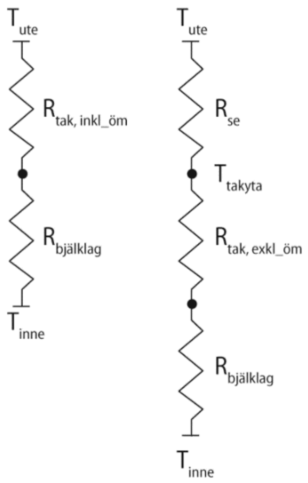
$$\text{U} = \frac{Q}{A(T_{inne} - T_{ute})} = \frac{-1.2}{20 - 7} = -0.009 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Utan sol ($T_{eq} = T_{ute}$):

$$\text{U} = \frac{1}{R} = \frac{1}{4.165} = 0.240 \text{ W/m}^2\text{K}$$

18

<u>Krets utan snö:</u>



$$R_{tot} = R_{tak,inkl\_öm} + R_{bjälklag} = 0.5 + 3.5 = 4 \text{ m}^2\text{K / W}$$

$$U = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{4} = 0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Med hjälp av (4.54) där $T_{eq} = T_{ute}$:

$$T_{takyta} = T_{ute} + (T_{inne} - T_{ute}) \cdot U \cdot R_{se}$$

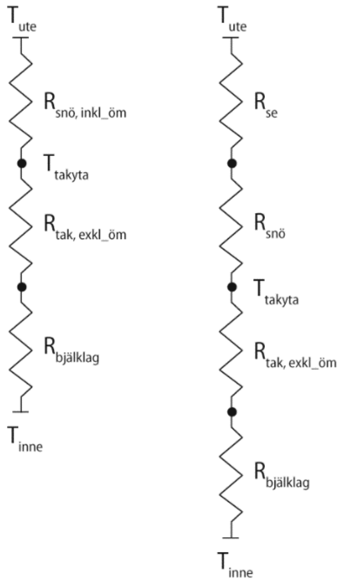
$$R_{se} = \frac{1}{\alpha} = 0.04 \text{ m}^2\text{K / W}$$

Takytans temperatur beräknas:

$$T_{ute} = -18\ °\text{C} \quad T_{takyta} = -18 + (22 - (-18)) \cdot 0.25 \cdot 0.04 = -17.6\ °\text{C}$$

$$T_{ute} = \ -8\ °\text{C} \quad T_{takyta} = -8 + (22 - (-8)) \cdot 0.25 \cdot 0.04 = -7.7\ °\text{C}$$

<u>Krets med snö:</u>



$$R_{tak,exkl\_öm} = R_{tak,inkl\_öm} - R_{se} = 0.5 - 0.04 = 0.46 \text{ m}^2\text{K / W}$$

$$R_{snö,inkl\_öm} = \frac{d_{snö}}{\lambda_{snö}} + R_{se} = \frac{0.2}{0.1} + 0.04 = 2.04 \text{ m}^2\text{K / W}$$

U-värde för hela konstruktionen inklusive snön:

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{3.5 + 0.46 + 2.04} = 0.167 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Takytans temperatur ska räknas fram. Vi använder (4.54) men uppskattar temperaturen längre än till snöytan, varför värmemotståndet R_{se} byts ut mot hela värmemotståndet utifrån till takytan.

$$T_{takyta} = T_{ute} + (T_{inne} - T_{ute}) \cdot U \cdot R_{snö,inkl\_öm} \quad \left(\text{vämebalans:} \frac{T_{takyta} - T_{ute}}{R_{snö,inkl\_öm}} = (T_{inne} - T_{ute}) \cdot U \right)$$

Takytans temperatur beräknas:

$$T_{ute} = -18\ °\text{C} \quad T_{takyta} = -18 + (22 - (-18)) \cdot 0.167 \cdot 2.04 = -4.4\ °\text{C}$$

$$T_{ute} = -8\ °\text{C} \quad T_{takyta} = -8 + (22 - (-8)) \cdot 0.167 \cdot 2.04 = +2.2\ °\text{C}$$

Snö smälter vid noll grader Celsius varför takytans temperatur blir $0\ °\text{C}$ istället.

Vi beräknar värmeflödet ut till takytan med och utan hänsyn till denna smältningseffekt.

Ignorera snösmältning:

$$Q = \frac{A}{R_{tot}} \cdot \left(T_{inne} - T_{ute}\right) = A \cdot \frac{1}{R_{bjälklag} + R_{tak,exkl\_öm} + R_{snö,inkl\_öm}} \cdot \left(T_{inne} - T_{ute}\right)$$

Hänsyn tagen till snösmältning:

$$Q' = \frac{A}{R'_{tot}} \cdot \left(T_{inne} - 0\right) = A \cdot \frac{1}{R_{bjälklag} + R_{tak,exkl\_öm}} \cdot \left(T_{inne} - 0\right)$$

Kvoten mellan dessa ger:

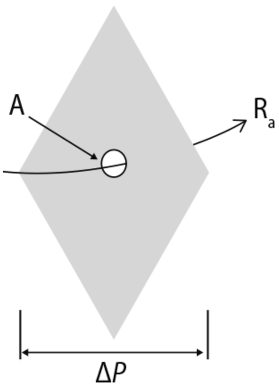
$$\frac{Q'}{Q} = \frac{6}{3.96} \cdot \frac{\left(22-0\right)}{\left(22-(-8)\right)} = 1.1$$

Vi ser att snösmältningen leder till ca 11% större värmeförlust genom taket.

<u>Om taket är ventilerat med uteluft och utetemperaturen är över noll grader Celsius</u>

Eftersom uteluftens temperatur är över noll kommer snön på taket att smälta, vilket leder till att temperaturen på takytan låses till noll. Värmeförlusterna kommer att vara konstanta tills all snö smält.
Om utetemperaturen höjs när det inte ligger snö på taket kommer istället värmeförlusten att sjunka eftersom den drivande temperaturskillnaden minskar.

19



Vi använder (5.1) med:

$$A = 0.009 \cdot 0.002 = 18 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2$$

Densiteten för luft kan hämtas från tabell A.8; ρ_l=1.2 kg/m^3.

$$R_a = 18 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\frac{0.845 \cdot 10}{1.2}} = 4.78 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^3/\text{s}$$

Total volym luft som strömmar ut under en timme blir:

$$R_a \cdot 1\text{h} = 4.78 \cdot 10^{-5} \cdot 3600 = 0.172\ \text{m}^3 = 172\ \text{liter}$$

Under ett dygn:

$$R_a \cdot 24\text{h} = 4.78 \cdot 10^{-5} \cdot 24 \cdot 3600 = 4.127\ \text{m}^3 = 4130\ \text{liter}$$

20

Vi använder (5.2) med:

$$R_a = A\frac{k}{\mu}\frac{\Delta P}{d}$$

$$A = \pi\left(\frac{0.1}{2}\right)^2 = 0.0079 \text{ m}^2$$

Enligt tabell A.3 (20 °C) och tabell A.10

$k = 0.13\cdot 10^{-9}$ m^2 $\quad \mu = 1.01\cdot 10^{-3}$ Ns/m^2

$$R_a = 3.37\cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$$

Luftvolym som strömmar igenom skivan under ett dygn blir:

$$R_a \cdot 3600\cdot 24 = 0.0029 \text{ m}^3\text{=2.9 liter}$$

21

Vi använder (5.4) med:

$$\Delta P = 0.04\cdot\left(T_1 - T_2\right)\cdot h = 0.04\cdot 32\cdot 5 = 6.4 \text{ Pa}$$

Använd figur 5C.3 som visar möjliga tryckförhållanden över ytterväggen.

a) Undertryck (inne) inom intervallet: 0 till -6.4 Pa
b) Både undertryck och övertryck (inne) inom intervallet: -3.2 till 3.2Pa
c) Övertryck (inne) inom intervallet: 0 till +6.4 Pa

22

$R_a = 95$ m^3/h $\quad T_{ute} = -5$°C $\quad T_{inne} = 21$°C

Vi använder (5.5-6):

$$Q_v = K_v\cdot\left(T_{inne} - T_{ute}\right)$$

Tabell A.8 används avseende data för luftens egenskaper:

$$K_v = nV\rho_l c_{pl} = R_a\cdot\rho_l c_{pl} = \frac{95}{3600}1.2\cdot 1000 = 31.7 \text{ W/K}$$

$$Q_v = 31.7\cdot(21-(-5)) = 823 \text{ W}$$

Energiförlust pga. värmeeffektbehovet för ventilation mellan tiden t_a och t_b blir:

$$E_v = \int_{t_a}^{t_b} Q_v dt = \left(t_b - t_a\right)\cdot Q_v = 30\cdot 24\cdot 823 = 592560 \text{ Wh} \approx 593\text{kWh}$$

23

Vi använder (6.2):

$$E = V\rho c\cdot\Delta T$$

$$V = A\cdot d = 120\cdot 0.22 = 26.4 \text{ m}^3$$

Densitet och specifik värmekapacitet för trä kan hämtas från tabell A.8.

$$\rho c = 500\cdot 1500 = 0.75\cdot 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$$

$$\text{E}=3.96\cdot 10^7 \text{ J}$$

Energin uttryckt i kWh blir:

$$\frac{3.96\cdot 10^7}{3600\cdot 1000}=\frac{3.96\cdot 10^7}{3.6\cdot 10^6}=11\,\text{kWh}$$

24

Vi använder (6.3):

$$T_A=\frac{3}{2}=1.5°\text{C}\quad t_p=24\text{h}=24\cdot 3600\text{s}$$

Inträngningsdjupet enligt (6.5) och data från tabell A.7 och A.8:

$$d_p=\sqrt{\frac{\lambda\cdot t_p}{\rho c\cdot \pi}}=0.0716\,\text{m}\approx 7.2\,\text{cm}$$

Inlagrad värme enligt (6.6) med arean A lika med 120 m^2:

$$E=1.37\cdot 10^7\,\text{J}=3.8\,\text{kWh}$$

Med en periodtid på en vecka fås istället:

$$E=3.62\cdot 10^7\,\text{J}=10.1\,\text{kWh}$$

25

Vi använder (6.7-8):

$$n=0.5\frac{1}{h}\quad U=0.2\,\text{W/m}^2\text{K}\quad \text{A}=300\,\text{m}^2\quad \Delta T=15°\text{C}\quad V=250\,\text{m}^3$$

Tidskonstanten blir:

$$t_c=\frac{V_{trä}\cdot(\rho c)_{trä}}{UA+\rho_l c_{pl}\cdot nV}=\frac{0.15\cdot 20\cdot 2.4\cdot 0.75\cdot 10^6}{0.2\cdot 300+1.2\cdot 1000\frac{0.5}{3600}250}=5.31\cdot 10^4=14.75\,\text{h}$$

Temperaturavklingning enligt (6.7):

$$5=15\cdot\left(1-e^{-t/t_c}\right)$$

$$\Leftrightarrow$$

$$e^{-t/t_c}=1-\frac{5}{15}=0.7$$

$$\Leftrightarrow$$

$$t/t_c=-\ln(0.7)\Rightarrow\quad t=-t_c\cdot\ln(0.7)=5.3\,\text{h}$$

26

Vi använder (7.1-2) samt tabell A.4 för mättnadsånghalten.

a)

$$v_{inne}=\varphi\cdot v_s(T)=0.35\cdot v_s(21)=0.35\cdot 18.32=6.41\,\text{g/m}^3$$

b)

$v_s(21) = 18.32\,\text{g/m}^3$

c)

$$RF_{inne} = 100 \cdot \varphi_{inne} = 100\frac{0.35 \cdot v_s(21)}{v_s(16)} = 100\frac{6.41}{13.62} = 47\,\%$$

d)

$v_s(T_{daggpunkt}) = v_{inne} = 6.41$

Läs ”baklänges” i tabell A.4!

$v_s(4.1) = 6.4 \Rightarrow T_{daggpunkt} = 4.1°\text{C}$

e)

$v_{FT} = v_{inne} - v_{ute} = 6.41 - 0.8 \cdot v_s(0) = 2.53\,\text{g/m}^3$

27

Figur A.9h ger fukthalter i materialet.

a)

$w_{start} = w_{gran}(95\%) = 120\,\text{kg/m}^3$

b) Formel (7.3):

$$u_{start} = 100\frac{w_{gran}(95\%)}{\rho_{gran}} = 100\frac{120}{420} = 29\,\%$$

c) Uttorkningskurvan används för gran.

$\text{Byggfukt} = w_{gran}(95\%) - w_{gran}(35\%) = 120\text{kg/m}^3 - 40\text{kg/m}^3 = 80\,\text{kg/m}^3$

d)

$w_{gran}(35\%) = 40\,\text{kg/m}^3$

e)

$$u_{gran}(35\%) = 100\frac{w_{gran}(35\%)}{\rho_{gran}} = 100\frac{40}{420} = 10\,\%$$

f) Uttorkningskurvan används för gran.

$\text{Byggfukt} = w_{gran}(95\%) - w_{gran}(70\%) = 50\,\text{kg/m}^3$

28

Figurerna A.9b och A.9l avläses fukthalter i material. Formel (7.4):

$M = V \cdot w_{betong}(t=0) + 5V \cdot w_{spånskiva}(t=0) = 0.4g$

Vid jämvikt och med insatt volym fås, (7.5):

$$w_{betong}(\varphi) + 5 \cdot w_{spånskiva}(\varphi) = \frac{0.4 \cdot 10^{-3}}{V} = \frac{0.4 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}} = 400\text{kg/m}^3$$

Vi gör en tabell och passningsräknar. (Obs data för trä från uppfuktningskurva och uttorkningskurvan från betong, om den är känd):

$RF = \varphi \cdot 100$	$w_{betong}(\varphi)$	$w_{spånskiva}(\varphi)$	Gissning av: $w_{betong}(\varphi) + 5 \cdot w_{spånskiva}(\varphi)$
50	47	46	277
75	75	60	375
80	79	66	409

Vi får en approximativ lösning med en RF på knappt 80%.

29

Vi har följande samband baserade på att det inte finns några temperaturskillnader i golvkonstruktionen och att det råder RF lika med 100% i marken strax under plattan:

$$T_{inne} = T_{golv} = T_{mark}$$

$$\frac{v_{golv} - v_s(T_{mark})}{Z} = 0 \Rightarrow v_{golv} = v_s(T_{mark})$$

$$\varphi_{golv} = \frac{v_{golv}}{v_s(T_{golv})} = \frac{v_s(T_{mark})}{v_s(T_{golv})} = \frac{v_s(T_{mark})}{v_s(T_{mark})} = 1$$

Här har vi också utnyttjat att mattan är helt tät, dvs. ingen fukt kan vandra genom golvkonstruktionen, g=0.
Med hjälp av figurerna A.9h och A.9k:

$$w_{trä}(RF = 100\%) \approx 140\,\mathrm{kg/m^3}$$

$$w_{träfiberskiva}(RF = 100\%) \approx 200\,\mathrm{kg/m^3}$$

30

Med (8.2-3):

$$G = A\frac{\delta}{d}\left(v_{inne} - v_{ute}\right)$$

Ånghalter får vi med hjälp av (7.1):

$$v_{inne} = \varphi_{inne} \cdot v_s(22) = 0.5 \cdot 19.41 = 9.705\,\mathrm{g/m^3}$$

$$v_{ute} = \varphi_{ute} \cdot v_s(5) = 0.71 \cdot 6.8 = 4.83\,\mathrm{g/m^3}$$

$$G = 60\frac{4 \cdot 10^{-6}}{0.2}\left(9.705 - 4.83\right) = 0.0058\,\mathrm{g/s}$$

Fuktflöde under en vecka:

$$G \cdot t_{vecka} = \frac{0.0058 \cdot 7 \cdot 24 \cdot 3600}{1000} = 3.54\,\mathrm{kg}$$

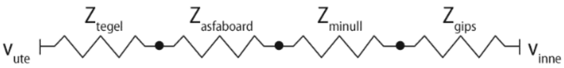
31

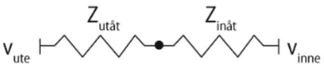
Använd (7.1) för randvillkor:

$$v_{ute} = \varphi_{ute} \cdot v_s(T_{ute}) = 0.71 \cdot v_s(5) = 0.71 \cdot 6.8 = 4.83\,\text{g/m}^3$$
$$v_{inne} = \varphi_{inne} \cdot v_s(T_{inne}) = 0.44 \cdot v_s(21) = 0.44 \cdot 18.32 = 8.06\,\text{g/m}^3$$

Använd (8.4) och (8.6) för att bestämma ångmotstånd för ett och flera skikt.

<u>Vi startar med att analyser konstruktionen utan ångspärr.</u>
Vi beräknar ånghalten i skiktet där gips och mineralull möts:





$$Z_{utåt} = Z_{tegel} + Z_{asfaboard} + Z_{minull}$$
$$Z_{inåt} = Z_{gips}$$

Mer data från uppgiften:

$$Z_{utåt} = \frac{0.12}{4 \cdot 10^{-6}} + \frac{0.02}{2 \cdot 10^{-6}} + \frac{0.12}{25 \cdot 10^{-6}} = 4.48 \cdot 10^4 \text{ s/m}$$
$$Z_{inåt} = 2 \cdot 10^3 \text{ s/m}$$

Ångmotstånden vid innertakytan försummas eftersom de är mycket små (se (8.12) 60-360 s/m) i jämförelse med skiktens.
Formel (8.8) används för att bestämma ånghalten:

$$v = \frac{Z_{utåt} \cdot v_{inne} + Z_{inåt} \cdot v_{ute}}{Z_{utåt} + Z_{inåt}} = \frac{4.48 \cdot 10^4 \cdot 8.06 + 2 \cdot 10^3 \cdot 4.83}{4.48 \cdot 10^4 + 2 \cdot 10^3} = \frac{4.48 \cdot 10^4 \cdot 8.06 + 2 \cdot 10^3 \cdot 4.83}{4.68 \cdot 10^4} = 7.9\,\text{g/m}^3$$

Ånghalten i skiktet där mineralull och asfaboard möts:

$$Z_{utåt} = Z_{tegel} + Z_{asfaboard} = \frac{0.12}{4 \cdot 10^{-6}} + \frac{0.02}{2 \cdot 10^{-6}} = 4 \cdot 10^4 \text{ s/m}$$
$$Z_{inåt} = Z_{minull} + Z_{gips} = \frac{0.12}{25 \cdot 10^{-6}} + 2 \cdot 10^3 = 6.8 \cdot 10^3 \text{ s/m}$$
$$v = \frac{Z_{utåt} \cdot v_{inne} + Z_{inåt} \cdot v_{ute}}{Z_{utåt} + Z_{inåt}} = \frac{4 \cdot 10^4 \cdot 8.06 + 6.8 \cdot 10^3 \cdot 4.83}{4.68 \cdot 10^4} = 7.6\,\text{g/m}^3$$

Ånghalten i skiktet där asfaboard och tegel möts:

$$Z_{utåt} = Z_{tegel} = \frac{0.12}{4 \cdot 10^{-6}} = 30 \cdot 10^3 \text{ s/m}$$
$$Z_{inåt} = Z_{asfaboard} + Z_{minull} + Z_{gips} = \frac{0.02}{2 \cdot 10^{-6}} + \frac{0.12}{25 \cdot 10^{-6}} + 2 \cdot 10^3 = 1.68 \cdot 10^4 \text{ s/m}$$
$$v = \frac{Z_{utåt} \cdot v_{inne} + Z_{inåt} \cdot v_{ute}}{Z_{utåt} + Z_{inåt}} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 8.06 + 1.68 \cdot 10^4 \cdot 4.83}{4.68 \cdot 10^4} = 6.9\,\text{g/m}^3$$

Fuktflöden genom konstruktionen utan ångspärr blir (8.7):

$$g = \frac{v_{inne} - v_{ute}}{Z_{hela\,konstruktionen}} = \frac{8.06 - 4.83}{4.68 \cdot 10^4} = 6.9 \cdot 10^{-5} \text{ g/m}^2\text{s}$$

Konstruktion med ångspärr.

Ångmotståndet för ångspärren är:

$Z_{ångspärr} = 3 \cdot 10^6$ s/m

För hela konstruktion får vi följande totala ångmotstånd:

$Z_{tot\,med\,ångspärr} = Z_{konstruktion\,utan\,ångspärr} + Z_{ångspärr} = 4.68 \cdot 10^4 + 3 \cdot 10^6 = 3\;\;046\,800$ s/m

Vi ser att ångspärrens motstånd helt dominerar väggens ångmotstånd.

Ånghalten innanför ångspärren blir:

$$v = \frac{Z_{utåt} \cdot v_{inne} + Z_{inåt} \cdot v_{ute}}{Z_{utåt} + Z_{inåt}} \approx \frac{Z_{ångspärr} \cdot 8.06 + 2 \cdot 10^3 \cdot 4.83}{Z_{ångspärr}} \approx 8.06 \text{ g/m}^3$$

Ånghalten utanför ångspärren blir:

$$v = \frac{Z_{utåt} \cdot v_{inne} + Z_{inåt} \cdot v_{ute}}{Z_{utåt} + Z_{inåt}} \approx \frac{4.48 \cdot 10^4 \cdot 8.06 + Z_{ångspärr} \cdot 4.83}{Z_{ångspärr}} \approx 4.83 \text{ g/m}^3$$

Fuktflöden genom konstruktionen med ångspärr blir (8.7):

$$g = \frac{v_{inne} - v_{ute}}{Z_{hela\,konstruktionen}} \approx \frac{8.06 - 4.83}{3 \cdot 10^6} = 1.1 \cdot 10^{-6} \text{ g/m}^2\text{s}$$

Kvoten mellan fuktflödet genom väggen utan och med ångspärr är:

$$\text{kvot} = \frac{6.9 \cdot 10^{-5}}{1.1 \cdot 10^{-6}} = 63$$

32

Vi har ett uttorkningsförlopp. Jämviktskurvan finns i figur A.9e. Fukthalten styrs av relativ fuktigheten i väggen. Vi beräknar först temperatur och ånghalt i de tre gränsskikten som finns mellan de fyra jämntjocka skikten som vi delar upp väggen i.

Temperaturen och ånghalten varierar linjärt vilket betyder att från insidan:

$T_{inne} = 20 \quad T_1 = 15 \quad T_2 = 10 \quad T_3 = 5 \quad T_{ute} = 0 \quad$ (°C)

$v_{inne} = 8 \quad v_1 = 7 \quad v_2 = 6 \quad v_3 = 5 \quad v_{ute} = 4 \quad$ (g/m^3)

Mättnadsånghalten är:

$v_{inne,s}(20) = 17.3 \quad v_{1,s}(15) = 12.8 \quad v_{2,s}(10) = 9.4 \quad v_{3,s}(5) = 6.8 \quad v_{ute,s}(0) = 4.8 \quad$ (g/m^3)

RF fås (7.1):

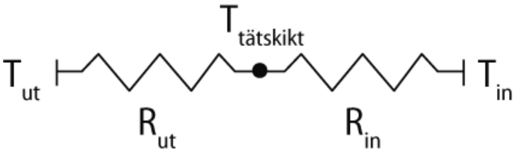
$\varphi_{inne} = 0.46 \quad \varphi_1 = 0.55 \quad \varphi_2 = 0.64 \quad \varphi_3 = 0.73 \quad \varphi_{ute} = 0.83 \quad$ (-)

Från uttorkningskurvan fås fukthalten vid jämvikt:

$w_{inne} = 16 \quad w_1 = 20 \quad w_2 = 26 \quad w_3 = 33 \quad w_{ute} = 50 \quad$ (kg/m^3)

33

Vi antar att det kondenserar mot tätskiktet. Vi behöver beräkna temperaturen på tätskiktets inneryta (in mot rummet) där avdunstning sker.



Formel (4.12), värmemotstånd enligt:

$$R_{in} = R_{si} + \frac{d_{cellplast}}{\lambda_{cellplast}} + \frac{d_{filt}}{\lambda_{filt}} = 0.13 + \frac{0.165}{0.033} + \frac{0.004}{0.04} = 5.23\,\mathrm{m^2K/W}$$

$$R_{ut} = R_{se} + \frac{d_{tätskikt}}{\lambda_{tätskikt}} = 0.04 + \frac{0.02}{0.071} = 0.322\,\mathrm{m^2K/W}$$

Temperaturen i gränsen mellan tätskiktet och filten blir:

$$T_{tätskikt} = \frac{R_{in}\cdot T_{ut} + R_{ut}\cdot T_{in}}{R_{in}+R_{ut}} = \frac{5.23\cdot 0 + 0.322\cdot 22}{5.55} = 1.28\,°\mathrm{C}$$

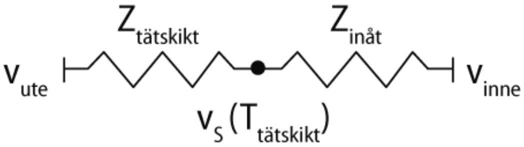
Mängden som netto kondenserar på ett takelement med bredden 0.6 m och längden 1 m, (8.3, 8.5):

$$G_{kond} = \frac{A}{Z_{inåt}}\cdot\left(v_{inne} - v_s(T_{tätskikt})\right) - \frac{A}{Z_{tätskikt}}\cdot\left(v_s(T_{tätskikt}) - v_{ute}\right)$$

Ångmotståndet från innemiljön till kondensationsytan är

$$Z_{inåt} = \frac{1}{\beta} + \frac{d_{cellplast}}{\delta_{cellplast}} + \frac{d_{filt}}{\delta_{filt}} = \frac{1}{0.003} + \frac{0.165}{3.3\cdot 10^{-5}} + \frac{0.004}{4\cdot 10^{-5}} = 5.43\cdot 10^3\ \mathrm{s/m}$$

$$Z_{tätskikt} = \frac{d_{tätskikt}}{\delta_{tätskikt}} = \frac{0.02}{2\cdot 10^{-9}} = 1\cdot 10^7\ \mathrm{s/m}$$



Vilket ger följande fuktflöde, utnyttjande (7.1):

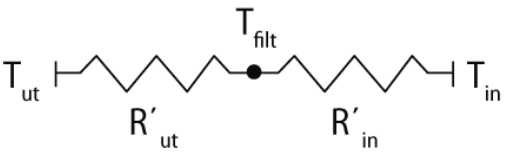
$$G_{kond} \approx \frac{0.6\cdot 1}{Z_{inåt}}\left(\varphi_{inne}\cdot v_s(T_{inne}) - v_s(T_{tätskikt})\right) = \frac{0.6\cdot 1}{5.43\cdot 10^3}\left(0.5\cdot v_s(22) - v_s(1.3)\right) = 4.88\cdot 10^{-4}\,\mathrm{g/s} = 1.76\ \mathrm{g/h}$$

För att beräkna avdunstningen från filten nedåt behöver vi beräkna ut temperaturen. Först värmemotstånden:

$$R'_{in} = 0.13\,\mathrm{m^2K/W}$$

Enligt tidigare vet vi:

$$R_{in} + R_{ut} = R'_{in} + R'_{ut} = 5.55\,\mathrm{m^2K/W} \Rightarrow R'_{ut} = 5.55 - R'_{in} = 5.55 - 0.13 = 5.42\,\mathrm{m^2K/W}$$



Filtens temperatur blir:

$$T_{filt} = \frac{R'_{in}\cdot T_{ut} + R'_{ut}\cdot T_{in}}{R'_{in} + R'_{ut}} = \frac{0.13\cdot 0 + 5.42\cdot 22}{5.55} = 21.5\,°\mathrm{C}$$

Nettokondensationen ska jämföras med avdunstningen inåt.

$$G_{avd} = \beta \cdot A_{filt} \cdot \left(v_s(T_{filt}) - v_{inne}\right) = \beta \cdot 0.02 \cdot 1 \cdot \left(v_s(21.5) - 0.5 \cdot 19.41\right) = 5.5 \cdot 10^{-4}\,\text{g/s=}1.98\,\text{g/h}$$

Om vi jämför flödenas storlek:

$$\frac{G_{avd}}{G_{kond}} = 1.1$$

Avdunstningens storlek kommer att vara tillräcklig för att torka bort det kondenserade vattnet.

34

Vi använder (8.16) och (5.5):

$$G = R_a \cdot \left(v_i - v_u\right) = nV \cdot \left(v_i - v_u\right)$$

Med (7.1):

$$v_i = \varphi \cdot v_s(20) = 0.4 \cdot 17.3 = 6.9\,\text{g/m}^3$$

$$G = nV \cdot \left(v_i - v_u\right) = \frac{0.5}{3600} 50 \cdot \left(6.9 - 4\right) = 0.02\,\text{g/s}$$

Under ett dygn:

$$G \cdot 24\text{h} = 0.02 \cdot 24 \cdot 3600 = 1740\,\text{g=}1.74\,\text{kg}$$

35

Formel (8.20), med tjockleken på skivorna lika med *d* (m):

$$t = m \cdot z^2 = m \cdot d^2$$

Data från tabell A.14:

Betong: $t = m \cdot d^2 = 6 \cdot 10^6 \cdot 0.12^2 = 86400\text{s} = 24\text{h}$

Tegel: $t = m \cdot d^2 = 0.5 \cdot 10^6 \cdot 0.12^2 = 7200\text{s} = 2\text{h}$

Uppsugen mängd (8.21):

$$G = A \cdot \sqrt{t}$$

Betong: $G = A \cdot \sqrt{t} = 0.05 \cdot \sqrt{86400} = 14.7\text{kg/m}^2$

Tegel: $G = A \cdot \sqrt{t} = 0.4 \cdot \sqrt{7200} = 33.9\text{kg/m}^2$

36

Teglets area – flatsida:

$$A_{tegelsten} = 0.12 \cdot 0.25 = 0.03\,\text{m}^2$$

Uppsugen vattenmängd efter en minut är (8.21):

$$G = A_{tegelsten} \cdot A \cdot \sqrt{t} = 0.03 \cdot A\sqrt{60} = 0.1\text{kg}$$

Vi löser ut *A*:

$$A = \frac{0.1}{0.03 \cdot \sqrt{60}} = 0.43\,\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$$

37

Med (8.22):

$$g = \frac{v_A - v_B}{d}\delta(\varphi)$$

Med data från figur 8F.1 (s 150):

$$g = \frac{0.001}{0.1}\delta(20\%) = 0.01 \cdot 2.25 \cdot 10^{-6} = 2.25 \cdot 10^{-8}\ \text{kg/m}^2\text{s}$$

$$g = \frac{0.001}{0.1}\delta(80\%) = 0.01 \cdot 3.125 \cdot 10^{-6} = 3.13 \cdot 10^{-8}\ \text{kg/m}^2\text{s}$$

Kvoten mellan dessa flöden är:

$$\frac{3.13}{2.25} = 1.39$$

Det flödar 39% mer fukt genom den fuktigare skivan vid samma ånghaltsskillnad.

38

Från (8.23) får vi:

$$G = A \cdot g = A \cdot v_s(T)\frac{\varphi - \varphi_l}{d/2/\delta(\varphi) + Z_{yta}}$$

Med insatta värden (Figur 8F.1):

$$G = 0.18 \cdot 2 \cdot v_s(15)\frac{0.9-0.5}{0.045/2/2.1 \cdot 10^{-6} + 200} = 0.36 \cdot 12.8 \cdot \frac{0.4}{10900} = 1.69 \cdot 10^{-4}\ \text{g/s}$$

Ett dygn:

$$G \cdot 24\text{h} = 1.69 \cdot 10^{-4} \cdot 24 \cdot 3600 = 14.6\,\text{g}$$

39

Ånghalten vid materialets yta antas variera enligt (8.24). Amplituden är då:

$$v_A = \frac{v_{\max} - v_{\min}}{2} = \frac{1.5}{2} = 0.75\,\text{g/m}^3$$

Perodtiden är 24h. Med (8.26) och data från Figur A.9k:

$$d_{pv} = \sqrt{\frac{a_v t_p}{\pi}} \qquad a_v = \frac{\delta \cdot v_s(T)}{\frac{dw}{d\varphi}} = \frac{\delta \cdot v_s(20)}{\frac{150-0}{1-0}}$$

Vi kan få data för ångsläppligheten genom tabell A.13 där ångmotståndet (8.4) för en skiva ges:

$$a_{v,\max} = \frac{0.0032/\left(10 \cdot 10^3\right) \cdot 17.3 \cdot 10^{-3}}{150} = 3.69 \cdot 10^{-11}$$

$$a_{v,\min} = \frac{0.0032/\left(40 \cdot 10^3\right) \cdot 17.3 \cdot 10^{-3}}{150} = 9.23 \cdot 10^{-12}$$

Det periodiska inträngningsdjupet ligger inom intervallet (t_p=24h):

$$0.5 \le d_{pv} \le 1\text{mm}$$

Amplitud på 2 mm djup (8.25):

$$v_{A,\min}(x) = v_A \cdot e^{-x/d_{pv}} = 0.75 \cdot e^{-2/0.5} = 0.014\,\text{g/m}^3$$
$$v_{A,\max}(x) = v_A \cdot e^{-x/d_{pv}} = 0.75 \cdot e^{-2/1} = 0.10\,\text{g/m}^3$$

40

Använd (10.2):

$$Q_t = K_t \cdot \left(T_i - T_u\right) \Rightarrow T_i - T_u = \frac{Q_t}{K_t}$$
$$K_t = A_e \cdot U = 4\pi R^2 \cdot U = 4\pi \cdot 2^2 \cdot 0.3 = 15.08\,\text{W/K}$$
$$T_i - T_u = \frac{500}{15.08} = 33.2\,°\text{C}$$

41

Konduktansen för ventilation (10.1) tillkommer. Med data från tabell A.8:

$$K_v = nV\rho_l c_{pl} = \frac{0.5}{3600}\frac{4\pi R^3}{3}1200 = 5.59\,\text{W/K}$$
$$T_i - T_u = \frac{Q}{K_t + K_v} = \frac{500}{20.67} = 24.2\,°\text{C}$$

Med värmeväxlare (10.8):

$$K_v = nV\rho_l c_{pl} \cdot \left(1 - \eta\right) = 5.59 \cdot 0.2 = 1.12\,\text{W/K}$$

$$T_i - T_u = \frac{Q}{K_t + K_v} = \frac{500}{15.08 + 1.12} = \frac{500}{16.2} = 30.9\,°\text{C}$$

42

Vi kan beskriva utetemperaturen med:

$$T_u(t) = T_{u,medel} + T_{u,säsongsamplitud} \cdot \sin\left(2\pi \frac{t}{t_p}\right)$$

Här anger t_p, periodtiden, dvs 1 år. För tiden mellan $t=t_p/2$ till $t=t_p$ kommer temperaturen ligga under medelvärdet.

Definition enligt (10.11) för att beräkna antalet gradtimmar betyder att:

$$I = \int_{t_{start}}^{t_{stop}} \left(T_i - T_u(t)\right) dt = \int_{t_p/2}^{t_p} \left(T_i - T_{u,medel}\right) dt - T_{u,säsongsamplitud} \cdot \int_{t_p/2}^{t_p} \sin\left(2\pi \frac{t}{t_p}\right) dt =$$

$$= \frac{t_p}{2} \cdot \left(T_i - T_{u,medel}\right) + T_{u,säsongsamplitud} \cdot \frac{t_p}{2\pi}\left[\cos\left(2\pi \frac{t}{t_p}\right)\right]_{t_p/2}^{t_p} = \frac{t_p}{2} \cdot \left(T_i - T_{u,medel}\right) + T_{u,säsongsamplitud} \cdot \frac{t_p}{\pi}$$

Med insatta värden

$$I = \frac{365 \cdot 24 \cdot 3600}{2} \cdot \left(20 - 8\right) + 10 \cdot \frac{365 \cdot 24 \cdot 3600}{\pi} = 2.9 \cdot 10^8 \text{ Ks} = \frac{2.9 \cdot 10^8}{3600} = 80400\text{Kh}$$

Om vi jämför (10.11-12) kan medeltemperaturen ute beräknas. Vi skriver om:

$$I = \frac{t_p}{2}\left(\left(T_i - T_{u,medel}\right) + T_{u,säsongsamplitud} \cdot \frac{2}{\pi}\right) = \frac{t_p}{2}\left(T_i - \left(T_{u,medel} - T_{u,säsongsamplitud} \cdot \frac{2}{\pi}\right)\right)\text{Ks}$$

Den andra delen av temperaturparentesen motsvarar utemedeltemperaturen under den kalla halvåret:

$$\bar{T} = T_{u,medel} - T_{u,säsongsamplitud} \cdot \frac{2}{\pi} = 8 - 10 \cdot \frac{2}{\pi} = 1.63\,°\text{C}$$

43

Formel (11.2) och (7.1) används.

$$V = 125 \cdot 2.4 = 300\,\text{m}^3$$

$$v_{FT} = v_i - v_u = \frac{G}{n \cdot V}$$

Sommar:

$$v_u = \varphi_u \cdot v_s(T_u) = 0.73 \cdot v_s(16) = 0.73 \cdot 13.62 = 9.94\,\text{g/m}^3$$

$$v_{FT} = \frac{12/24/3600}{1/3600 \cdot 300} = 0.00167\,\text{kg/m}^3 = 1.67\,\text{g/m}^3$$

$$v_i = v_u + v_{FT} = 9.94 + 1.67 = 11.61\,\text{g/m}^3$$

$$RF_i = 100\frac{v_i}{v_s(21)} = 100\frac{11.61}{18.32} = 63.4\%$$

Vinter:

$$v_u = \varphi_u \cdot v_s(T_u) = 0.82 \cdot v_s(-2) = 0.82 \cdot 4.13 = 3.39\,\text{g/m}^3$$

$$v_{FT} = \frac{12/24/3600}{0.5/3600 \cdot 300} = 0.00333\,\text{kg/m}^3 = 3.33\,\text{g/m}^3$$

$$v_i = v_u + v_{FT} = 3.39 + 3.33 = 6.72\,\text{g/m}^3$$

$$RF_i = 100\frac{v_i}{v_s(21)} = 100\frac{6.72}{18.32} = 36.7\%$$

44

Formel (11.1) ger förändringen i ånghalt över tid:

$$v_i - v_u = v_{FT} = \frac{G}{n \cdot V}\left(1 - e^{-nt}\right)$$

$$v_u = \varphi_u \cdot v_s(T_u) = 0.95 \cdot v_s(-3) = 0.95 \cdot 3.81 = 3.62\,\text{g/m}^3$$

RF inne med tiden angiven i timmar:

$$\varphi_i = \frac{1}{v_s(18)} \cdot \left(v_u + \frac{G}{n \cdot V}\left(1-e^{-nt}\right)\right) = 65.10 \cdot \left(3.62 \cdot 10^{-3} + \frac{2 \cdot 35 \cdot 10^{-3} / 3600}{\left(0.5 \cdot 0.5 / 3600\right) \cdot 28} \cdot \left(1-e^{-t_h/4}\right)\right) =$$

$$= 65.10 \cdot 10^{-3}\left(3.62 + \frac{70}{0.25 \cdot 28} \cdot \left(1-e^{-t_h/4}\right)\right) = 0.0651 \cdot \left(3.62 + 10 \cdot \left(1-e^{-t_h/4}\right)\right)$$

Vi får följande RF vid de aktuella tiderna:

$$\varphi_i(0) = 0.0651 \cdot \left(3.62 + 10 \cdot \left(1-e^{-t_h/4}\right)\right) = 0.0651 \cdot 3.62 = 0.24$$

$$\varphi_i(2\text{h}) = 0.0651 \cdot \left(3.62 + 10 \cdot \left(1-e^{-1/2}\right)\right) = 0.49$$

$$\varphi_i(4\text{h}) = 0.0651 \cdot \left(3.62 + 10 \cdot \left(1-e^{-1}\right)\right) = 0.65$$

$$\varphi_i(8\text{h}) = 0.0651 \cdot \left(3.62 + 10 \cdot \left(1-e^{-2}\right)\right) = 0.80$$

För att begränsa RF till 50% efter 8h ska följande ekvation lösas:

$$\varphi_i = 65.10 \cdot 10^{-3} \cdot \left(3.62 + \frac{70}{n \cdot 28}\left(1-e^{-n \cdot 8}\right)\right) = 0.5$$

Här representerar *n* luftomsättningen per timme. Man kan passa sig fram eller använda en ekvationslösare för att hitta *n* som blir 0.61 1/h.

45

Formel (12.2) ger U-värdet för ett tvåglasfönster.

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

Med övergångsmotstånden vid inner- och ytteryta lika med (4.41):

$$R_{si} = \frac{1}{\alpha_i} = \frac{1}{8} = 0.125\,\text{m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se} = \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{25} = 0.04\,\text{m}^2\text{K/W}$$

Luftspaltens värmemotstånd (12.3), (4.28) blir:

$$R_{spalt} = \frac{1}{\alpha_s + \alpha_{kl}} = \frac{1}{\alpha_s + 1.5}$$

Värmeöverföringskoefficienten för strålning blir:

$$\alpha_s = 4\varepsilon_{12}\sigma_s T_m^3$$

$$\varepsilon_{12} = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}$$

Medeltemperaturen sätts till:

$$T_m = \frac{20+0}{2} + 273 = 283\,\text{K}$$

För ε=0.2 får vi:

$$\varepsilon_{12} = \frac{1}{5+5-1} = \frac{1}{9} = 0.11 \qquad \alpha_s = 0.571\,\text{W/m}^2\text{K}$$

För ε=0.92 får vi:

$$\varepsilon_{12} = \frac{1}{2 \cdot 1.087 - 1} = \frac{1}{1.174} = 0.852 \qquad \alpha_s = 4.38\,\mathrm{W/m^2K}$$

Vi får följande två alternativa U-värden för fönstren:

$$\varepsilon = 0.2 \quad U = 1.54\,\mathrm{W/m^2K}$$

$$\varepsilon = 0.92 \quad U = 2.98\,\mathrm{W/m^2K}$$

Värmeflödet (4.50), (4.52) ut genom fönstret blir:

$$Q = U \cdot A\left(T_{inne} - T_{ute}\right) \qquad (T_{eq} = T_{ute})$$

Med insatta värden:

$$\varepsilon = 0.20 \quad \frac{Q}{A} = U \cdot \left(T_{inne} - T_{ute}\right) = 1.54 \cdot (20-0) = 30.8\ \mathrm{W/m^2}$$

$$\varepsilon = 0.92 \quad \frac{Q}{A} = U \cdot \left(T_{inne} - T_{ute}\right) = 2.98 \cdot (20-0) = 59.6\ \mathrm{W/m^2}$$

46

Vi beräknar U-värdet (12.2) för fönstret:

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

Med övergångsmotstånden vid inner- och ytteryta lika med (4.41):

$$R_{si} = \frac{1}{\alpha_i} = \frac{1}{8} = 0.125\,\mathrm{m^2K/W}$$

$$R_{se} = \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{25} = 0.04\,\mathrm{m^2K/W}$$

Luftspaltens värmemotstånd (12.3), (4.28) blir:

$$R_{spalt} = \frac{1}{\alpha_s + \alpha_{kl}} = \frac{1}{\alpha_s + \alpha_l} = \frac{1}{\alpha_s + \lambda_l / d}$$

För strålning:

$$\alpha_s = 4\varepsilon_{12}\sigma_s T_m^3$$

$$\varepsilon_{12} = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}$$

Medeltemperaturen sätts till:

$$T_m = \frac{20-5}{2} + 273 = 280.5\,\mathrm{K}$$

För ε=0.92 får vi:

$$\varepsilon_{12} = \frac{1}{2 \cdot 1.087 - 1} = \frac{1}{1.174} = 0.852 \qquad \alpha_s = 4.26\,\mathrm{W/m^2K}$$

Spaltens motstånd blir:

$$R_{spalt} = \frac{1}{4.26 + 0.026/0.02} = 0.18\,\mathrm{m^2K/W}$$

Vilket ger:

$$U = \frac{1}{1/8 + 0.18 + 1/25} = 2.90\,\text{W/m}^2\text{K}$$

Värmeförlust utan sol:

$$Q = U \cdot A\left(T_{inne} - T_{ute}\right) = 2.90 \cdot 3 \cdot 25 = 217.5\,\text{W}$$

Med sol (4.23):

$$Q = U \cdot A\left(T_{inne} - T_{ute}\right) - A \cdot \alpha_{ks} \cdot I_0 = 217.5 - 3 \cdot 0.76 \cdot 300 = -466.5\text{W}$$

47

Vi börjar med att beräkna inne- och uteklimatet, (7.1):

$$v_u = \varphi_u \cdot v_s(T_u) = 0.90 \cdot v_s(-5) = 0.9 \cdot 3.24 = 2.92\,\text{g/m}^3$$

$$v_i = v_u + v_{FT} = 2.92 + 2 = 4.92\,\text{g/m}^3$$

Värmemotstånden i värmeisoleringen och i spånskivan är (Tabell A.7):

$$R_{isol} = \frac{d_{isol}}{\lambda_{isol}} = \frac{0.15}{0.04} = 3.75\text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{spånskiva} = \frac{d_{spånskiva}}{\lambda_{spånskiva}} = \frac{0.019}{0.14} = 0.136\text{ m}^2\text{K/W}$$

Vi ska beräkna temperaturen inne i väggen, (4.12). Först i gränsskiktet mellan spånskiva och isolering:

$$R_{in} = R_{spånskiva} + R_{si} = 0.266\text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{ut} = R_{isol} + R_{se} = 3.79\text{ m}^2\text{K/W}$$

Temperaturen blir:

$$T_2 = \frac{R_{in} \cdot T_{ute} + R_{ut} \cdot T_{inne}}{R_{in} + R_{ut}} = \frac{0.266 \cdot (-5) + 3.79 \cdot 18}{4.06} = 16.5\text{ °C}$$

På samma sätt, temperaturen på den yttre plåten:

$$R_{in} = R_{isol} + R_{spånskiva} + R_{si} = 4.02\text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{ut} = R_{se} = 0.04\text{ m}^2\text{K/W}$$

$$T_1 = \frac{R_{in} \cdot T_{ute} + R_{ut} \cdot T_{inne}}{R_{in} + R_{ut}} = \frac{4.02 \cdot (-5) + 0.04 \cdot 18}{4.06} = -4.8\text{ °C}$$

Vi söker den punkt närmast innemiljön som har en mättnadsånghalt lika med inneånghalten, se Beräkningsmodul 12B, s 203.

$$v_s(T) = v_i = 4.92\,\text{g/m}^3 \Rightarrow T \approx 0.2\,\text{°C}$$

Denna temperatur, som ligger mellan T_1 och T_2 kan vi hitta i mineralullen. Temperaturen faller linjärt över isoleringen. Med x representerande avståndet från plåten inåt genom isoleringen kan vi teckna:

$$T(x) = T_1 + (T_2 - T_1)\frac{x}{0.15}$$

Positionen x för när temperaturen är lika med daggpunkten blir:

$$T_1 + (T_2 - T_1)\frac{x}{0.15} = 0.2 \Rightarrow x = 0.15 \cdot \frac{0.2 - T_1}{T_2 - T_1} = 0.15 \cdot \frac{0.2 - (-4.8)}{16.5 - (-4.8)} = 0.035\,\text{m}$$

Ånghalten i konstruktionen på den varma sidan kommer att approximativt vara lika med inneånghalten fram till den aktuella punkten. Därefter kommer ånghalten följa mättnadsånghalten fram till plåten. Som approximation kan vi anta att ånghaltsskillnaden mellan innemiljön och mättnadsånghalten vid plåten är den drivande.
Mängden kondens blir, utnyttjande tabell A.12-13, försummande ångövergångsmotstånd:

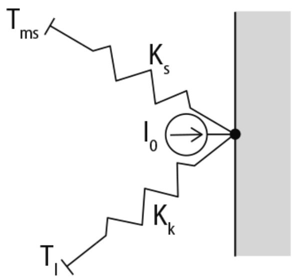
$$g_{kondens} \approx \frac{v_i - v_s(T_1)}{Z_{isolering} + Z_{spånskiva}} = \frac{4.92 - v_s(-4.8)}{\frac{0.15}{10 \cdot 10^{-6}} + 30 \cdot 10^3} = \frac{4.92 - 3.29}{45 \cdot 10^3} = 3.62 \cdot 10^{-5}\,\text{g/m}^2\text{s}$$

$$G = t_{\text{vinter}} \cdot 3.62 \cdot 10^{-5} = 3 \cdot 30 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 3.62 \cdot 10^{-5} = 281.7\,\text{g/m}^2 \approx 0.3\,\text{kg/m}^2$$

Ingen fukt kan vandra ut genom plåten som är helt ångtät.

48

Följande värmekrets illustrera situationen (se Beräkningsmodul 4H s 79-78):



Den ekvivalenta utetemperaturen blir (4.45):

$$T_{eq} = T_l + \frac{1}{\alpha_s + \alpha_k}\left(\alpha_s \cdot (T_{ms} - T_l) + \frac{I_{0,absorberad}}{A}\right) = T_l + \frac{1}{\alpha_e} \cdot I_{sol,in,vinkelrätt} \cdot \alpha_{ks} \qquad (T_{ms} = T_l)$$

Med insatta värden:

Med sol $\quad T_{eq} = 0 + \frac{1}{25} \cdot 400 \cdot 0.93 = 14.9\,°\text{C}$

Utan sol $\quad T_{eq} = 0 + \frac{1}{25} \cdot 0 \cdot 0.93 = 0\,°\text{C}$

Värmemotståndet från takytan till inneluften respektive till den ekvivalenta utetemperaturen är:

$R_{in} = 4\,\mathrm{m^2K/W}$

$R_{ut} = \frac{1}{25} = 0.04\,\mathrm{m^2K/W}$

Yttemperaturen med solinstrålning blir:

$$T_{yta} = \frac{R_{in} \cdot T_{eq} + R_{ut} \cdot T_{inne}}{R_{in} + R_{ut}} = \frac{4 \cdot 14.9 + 0.04 \cdot 22}{4.04} = 15.0\,°\mathrm{C}$$

Och utan:

$$T_{yta} = \frac{R_{in} \cdot T_{eq} + R_{ut} \cdot T_{inne}}{R_{in} + R_{ut}} = \frac{4 \cdot 0 + 0.04 \cdot 22}{4.04} = 0.22\,°\mathrm{C}$$

Värmeflödet ut genom taket, med sol:

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_{inne} - T_{eq}}{R_{in} + 1/\alpha_e} = \frac{22 - T_{eq}}{4 + 0.04} = \frac{22 - 14.9}{4 + 0.04} = 1.76\,\mathrm{W/m^2K}$$

Värmeflödet ut genom taket, utan sol:

$$\frac{Q}{A} = \frac{22 - T_{eq}}{4.04} = \frac{22 - 0}{4.04} = 5.45\,\mathrm{W/m^2K}$$

49

På samma sätt som i uppgift 48.

Den ekvivalenta utetemperaturen blir (4.45), utan sollstrålning:

$$T_{eq} = T_l + \frac{1}{\alpha_s + \alpha_k}\left(\alpha_s \cdot \left(T_{ms} - T_l\right) + \frac{I_{0,absorberad}}{A}\right) = T_{ute} + \frac{\alpha_s}{\alpha_s + \alpha_k}\left(T_{ms} - T_{ute}\right) \quad \left(= T_{ute} + \frac{\alpha_s}{\alpha_e}\left(T_{ms} - T_{ute}\right)\right)$$

Den motstrålande temperaturen beräknas enligt (4.46):

$$T_{ms} = 1.2 \cdot T_{ute} - 14 = 1.2 \cdot (-20) - 14 = -38°\mathrm{C}$$

Vi behöver beräkna värmeöverföringskoefficienten för strålning (4.29) (OBS tryckfel i första upplagan av boken, temperaturen ska vara upphöjt till 3):

$\alpha_s = 4\varepsilon_1\sigma_s T_m^3$

Medeltemperaturen blir:

$$T_m \approx 273 + \frac{T_{ms} + T_{ute}}{2} = 273 + \frac{-38 - 20}{2} = 244\mathrm{K}$$

$$\alpha_s = 4\varepsilon_1\sigma_s T_m^3 = 4 \cdot 0.97 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot 244^3 = 3.2\,\mathrm{W/m^2K}$$

Den ekvivalenta utetemperaturen blir:

$$T_{eq} = T_{ute} + \frac{\alpha_s}{\alpha_s + \alpha_k}\left(T_{ms} - T_{ute}\right) = -20 + \frac{3.2}{3.2 + 25}(-38 - (-20)) = -22°\mathrm{C}$$

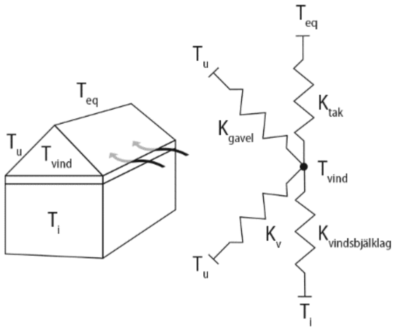
Takets yttemperatur fås genom (4.12):

$$T_{yta}=\frac{R_{in}\cdot T_{eq}+R_{ut}\cdot T_{ventilationsutrymme}}{R_{in}+R_{ut}}=\frac{0.3\cdot(-22)+\frac{1}{28.2}\cdot(-20)}{0.3+1/28.2}=-21.8°\mathrm{C}$$

50

Formel (13.4) kan användas med en komplettering för tillgodogjord solstrålning.

Fig 13A.1 + värmekälla.



Räkneregel enligt Figur C.6 och C.8:

$$T_{vind}=\frac{K_v\cdot T_{ute}+K_{gavel}\cdot T_{ute}+K_{tak}\cdot T_{ute}+K_{vindsbjälklag}\cdot T_{inne}}{K_v+K_{gavel}+K_{tak}+K_{vindsbjälklag}}+\frac{I_0}{K_v+K_{gavel}+K_{tak}+K_{vindsbjälklag}}=$$

$$=\frac{K_v\cdot T_{ute}+K_{gavel}\cdot T_{ute}+K_{tak}\cdot T_{ute}+K_{vindsbjälklag}\cdot T_{inne}+I_0}{K_0}$$

$$K_0=K_v+K_{gavel}+K_{tak}+K_{vindsbjälklag}$$

Vi beräknar de olika konduktanserna (4.51-52). Först lite ytor:

$$A_{tak}=4\cdot\sqrt{2}\cdot 14\cdot 2=158.4\,\mathrm{m}^2$$

$$A_{vindsbjälklag}=8\cdot 14=112\,\mathrm{m}^2$$

$$A_{gavel}=8\cdot 4=32\,\mathrm{m}^2$$

$$K_v=nV\rho_l c_{pl}=\frac{5}{3600}8\cdot 14\cdot 2\cdot 1200=373.3\,\mathrm{W/K}$$

$$K_{gavel}=\frac{A_{gavel}}{R_{gavel}}=\frac{32}{1}=32\mathrm{W/K}$$

$$K_{tak}=\frac{A_{tak}}{R_{tak}}=\frac{158.4}{1}=158.4\mathrm{W/K}$$

$$K_{vindsbjälklag}=\frac{A_{vindsbjälklag}}{R_{vindsbjälklag}}=\frac{112}{3}=37.3\mathrm{W/K}$$

$$K_0=601\mathrm{W/K}$$

Temperatur på vinden <u>utan sol</u>:

$$T_{vind} = \frac{\left(K_v + K_{gavel} + K_{tak}\right)\cdot T_{ute} + K_{vindsbjälklag}\cdot T_{inne} + 0}{K_0} = \frac{(373.3+32+158.4)\cdot(-10)+37.3\cdot 20}{601} = -8.14°\text{C}$$

Värmeförlust upp på vinden:

$$Q = K_{vindsbjälklag}\cdot\left(T_{inne} - T_{vind}\right) = 37.3\cdot\left(20-(-8.14)\right) = 1050\,\text{W}$$

Ett U-värde för tak/vindskonstruktionen ska beskriva samma värmeflöde:

$$Q = U\cdot A_{vindsbjälklag}\left(T_{inne} - T_{ute}\right) \Rightarrow$$

$$U = \frac{Q}{A_{vindsbjälklag}\cdot\left(T_{inne} - T_{ute}\right)} = \frac{1050}{112\cdot(20-(-10))} = 0.31\,\text{W/m}^2\text{K}$$

<u>Med sol:</u>

Absorberad solstrålning (4.23) på ena taksidan blir:

$$Q = \frac{A_{tak}}{2}\cdot\alpha_{ks}\cdot I_{sol} = \frac{158.4}{2}\cdot 0.90\cdot 200 = 14256\,\text{W}{=}14.3\,\text{kW}$$

Hälften av denna effekt tillförs vindsutrymmet enligt uppgift:

$$I_0 = 7128\text{W}$$

Förhöjningen av vindstemperaturen blir:

$$\Delta T_{vind} = \frac{I_0}{K_0} = \frac{7128}{601} = 11.9°\text{C}$$

Värmeförlusten genom bjälklaget ändras till:

$$Q = K_{vindsbjälklag}\cdot\left(T_{inne} - \left(T_{vind} + \Delta T_{vind}\right)\right) = 37.3\cdot\left(20-(-8.14+11.9)\right) = 606\,\text{W}$$

U värdet ändras till:

$$U = \frac{Q}{A_{vindsbjälklag}\cdot\left(T_{inne} - T_{ute}\right)} = \frac{606}{112\cdot(20-(-10))} = 0.18\,\text{W/m}^2\text{K}$$

51

Då vindsbjälklaget anses mycket välisolerat antar vi att utetemperaturen råder på vinden. Ånghalten på vinden kan beräknas med hjälp av (13.6):

$$v_{vind} = v_u + \frac{R_{ai}}{R_{au}+R_{ai}}v_{FT} \Rightarrow$$

$$\varphi_{vind} = \frac{v_{vind}}{v_s(T_u)} = \frac{v_u + \frac{R_{ai}}{R_{au}+R_{ai}}v_{FT}}{v_s(T_u)} = \varphi_u + \frac{R_{ai}}{R_{au}+R_{ai}}\frac{v_{FT}}{v_s(T_u)}$$

Luftflödena blir:

$$R_{ai} = \frac{1}{3600}\ \text{m}^3/\text{s}$$

$$R_{au} = nV = \frac{1}{3600}\cdot 50\ \text{m}^3/\text{s}$$

$$\varphi_{vind} = \varphi_u + \frac{R_{ai}}{R_{au}+R_{ai}}\frac{v_{FT}}{v_s(0)} = 0.85 + \frac{1}{50+1}\frac{3}{4.84} = 0.862$$

Dvs. RF på vinden blir ca 86%.

52

Lufttrycket inomhus stiger, i relation till utetrycket, linjärt, se Beräkningsmodul 5C, sid 95. Övertrycket baseras på höjden, *h*, från det neutrala lagret till vindsbjälklaget, dvs *h*=5-1=4 m. Med (5.4) fås:

$$\Delta p = 0.04 \cdot (T_i - T_u) \cdot h = 0.04 \cdot (22 - (-1)) \cdot 4 = 3.7\,\text{Pa}$$

Luftflödet upp till vinden kan uppskattas med hjälp av (5.1) och densitet för luft från tabell 5.2:

$$R_{ai} = A \cdot \sqrt{\frac{0.845 \cdot \Delta p}{\rho_a}} = 2 \cdot (0.6 + 0.8) \cdot 0.0025 \cdot \sqrt{\frac{0.845 \cdot 3.7}{1.16}} = 0.00362\text{m}^3/\text{s} = 3.62\,\text{l/s}$$

Fukttillstånd (7.1):

$$v_u = \varphi_u \cdot v_s(T_u) = 0.7 \cdot v_s(-1) = 0.7 \cdot 4.48 = 3.14\,\text{g/m}^3$$

$$v_i = \varphi_i \cdot v_s(T_i) = 0.4 \cdot v_s(22) = 0.4 \cdot 19.41 = 7.76\,\text{g/m}^3$$

Fuktbalans på kallvinden enligt Beräkningsmodul 13B, sid 219. Formel (13.5):

$$R_{au} = nV = \frac{0.3}{3600} 120 = 0.01\text{m}^3/\text{s} = 10\text{l/s}$$

$$v_{vind} = \frac{R_{au} \cdot v_u + R_{ai} \cdot v_i}{R_{au} + R_{ai}} = \frac{10 \cdot 3.14 + 3.62 \cdot 7.76}{10 + 3.62} = 4.37\text{g/m}^3$$

Den relativa fuktigheten på vinden blir:

$$\varphi_{vind} = \frac{v_{vind}}{v_s(T_u)} = \frac{4.37}{v_s(-1)} = \frac{4.37}{4.48} = 0.98$$

Beräknat RF på vinden är mycket högt, 98%. Fukttillskottet på vinden, dvs skillnaden mellan ånghalten på vinden och ute, är endast ca 1,2 g/m^3, en ökning med knappt 40%. Detta ger dock upphov till en kraftig höjning av RF i jämförelse med utemiljön pga. de låga temperaturerna och därmed låga mättnadsånghalter.

Kvot mellan fuktflödena blir, användande (8.3-5) och (8.16):

$$\frac{A/Z}{R_{ai}} \frac{v_i - v_{vind}}{v_i - v_{vind}} = \frac{A}{Z \cdot R_{ai}} = \frac{90}{3 \cdot 10^6 \cdot 3.62 \cdot 10^{-3}} = 0.0083 \approx \frac{1}{121}$$

Vi ser att diffusionen spelar en marginell roll för fukttillståndet på vinden.

53

Beräkningsmodul 14A kan användas.

$$b = \frac{A}{P/2} = \frac{15 \cdot 15 - 5 \cdot 5}{(4 \cdot 15 + 4 \cdot 5)/2} = 5\,\text{m}$$

Den ekvivalenta isoleringstjockleken blir, (14.3):

$$d_t = d_w + \lambda_{mark} \cdot R_{tot} = d_w + 2 \cdot 10 = d_w + 20 \approx 20\,\text{m}$$

Eftersom denna tjocklek är större än bredden *b* kan formel (14.4) användas.

$$U = \frac{\lambda_{mark}}{0.457 \cdot b + d_t} = \frac{2}{0.457 \cdot 5 + 20} = 0.09\,\text{W/m}^2\text{K}$$

Hade all mark tagits bort och vi räknat på en motsvarande vägg hade U-värdet blivit 0.1 W/m^{2}K. Värmemotståndet för marken sänker det endast något.

54

Beräkningsmodul 14B kan användas.

$$b = \frac{A}{P/2} = \frac{15 \cdot 15}{4 \cdot 15/2} = 7.5\,\mathrm{m}$$

Den ekvivalenta isoleringstjockleken blir, (14.3):

$$d_t = d_w + \lambda_{mark} \cdot R_{tot} = d_w + 2 \cdot 10 = d_w + 20 \approx 20\,\mathrm{m}$$

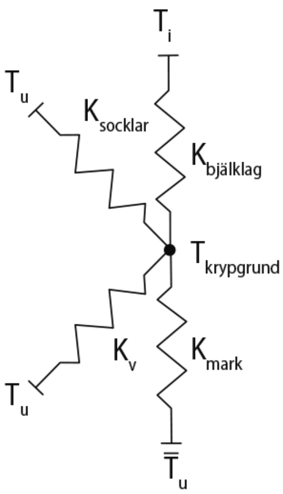
Med hjälp av (14.6) får vi:

$$T_{mark,mitt} = \bar{T}_u + u_{mitt}(L/B, d_t/B) \cdot (T_i - \bar{T}_u)$$

Årsmedeltemperaturen för Kristianstad fås från figur 2.12, sid 22. Avläsning av figur 14B.1 för u_{mitt}.

$$T_{mark,mitt} = 7 + u_{mitt}(15/15, 20/15) \cdot (21-7) = 7 + u_{mitt}(1, 1.33) \cdot 14 = 7 + 0.21 \cdot 14 \approx 9.9\,°\mathrm{C}$$

55



Beräkningsmodul 14C och (14.7) kan användas. Först beräknas konduktanserna:

$$K_{socklar} = \frac{A_{socklar}}{R_{socklar}} = \frac{2 \cdot (8+14) \cdot 0.9}{\frac{d_{socklar}}{\lambda_{socklar}} + R_{si} + R_{se}} = \frac{39.6}{\frac{0.3}{0.6} + \frac{1}{\alpha_{si}} + \frac{1}{\alpha_{se}}} = \frac{39.6}{0.5 + \frac{1}{7.7} + \frac{1}{25}} = 59.1\,\mathrm{W/K}$$

Ventilation 5 1/h:

$$K_v = nV\rho_l c_{pl} = \frac{5}{3600} 8 \cdot 14 \cdot 0.9 \cdot 1200 = 168\,\mathrm{W/K}$$

Bjälklaget:

$$K_{bjälklag} = \frac{A_{bjälklag}}{R_{bjälklag}} = \frac{8 \cdot 14}{2} = 56\,\mathrm{W/K}$$

Mark:

$$K_{mark} = \frac{A_{mark}}{R_{mark}} = \frac{8 \cdot 14}{3} = 37.3\,\mathrm{W/K}$$

Krypgrundstemperaturen (14.7) blir:

$$T_{krypgrund} = \frac{K_v \cdot T_u + K_{socklar} \cdot T_u + K_{mark} \cdot \overline{T}_u + K_{bjälklag} \cdot T_i}{K_v + K_{socklar} + K_{mark} + K_{bjälklag}} = \frac{-168 \cdot 5 - 59.1 \cdot 5 + 37.3 \cdot 7 + 56 \cdot 20}{168 + 59.1 + 37.3 + 56} = 0.8°\text{C}$$

Vid luftomsättning lika med noll får vi istället (K_v=0):

$$T_{krypgrund} = \frac{K_{socklar} \cdot T_u + K_{mark} \cdot \overline{T}_u + K_{bjälklag} \cdot T_i}{K_{socklar} + K_{mark} + K_{bjälklag}} = \frac{-59.1 \cdot 5 + 37.3 \cdot 7 + 56 \cdot 20}{59.1 + 37.3 + 56} = 7.1°\text{C}$$

U-värde för hela grundkonstruktionen fås igenom:

$$U = \frac{Q_{bjälklag}}{A_{bjälklag} \cdot (T_i - T_u)} = \frac{K_{bjälklag} \cdot (T_i - T_{krypgrund})}{A_{bjälklag} \cdot (T_i - T_u)} = \frac{56 \cdot (20 - 0.8)}{8 \cdot 14 \cdot (20 - (-5))} = 0.38\text{W/m}^2\text{K} \quad \text{n=5 1/h}$$

$$U = \frac{56 \cdot (20 - 7.1)}{8 \cdot 14 \cdot (20 - (-5))} = 0.26\text{W/m}^2\text{K} \quad \text{n=0 1/h}$$

56

Beräkningsmodul 14C och (14.7) kan användas. Först beräknas konduktanserna:

$$K_{socklar} = \frac{A_{socklar}}{R_{socklar}} = \frac{2 \cdot (10 + 16) \cdot 1}{\frac{d_{socklar}}{\lambda_{socklar}} + R_{si} + R_{se}} = \frac{52}{\frac{0.25}{0.6} + 0.13 + 0.04} = 88.6 \text{ W/K}$$

Ventilation 5 1/h:

$$K_v = nV\rho_l c_{pl} = \frac{0.5}{3600} 10 \cdot 16 \cdot 1.0 \cdot 1200 = 26.7 \text{ W/K}$$

Bjälklaget:

$$K_{bjälklag} = \frac{A_{bjälklag}}{R_{bjälklag}} = \frac{10 \cdot 16}{2.5} = 64 \text{ W/K}$$

Mark:

$$K_{mark} = A_{mark} \cdot U_0 = 10 \cdot 16 \cdot 0.317 = 50.7 \text{ W/K}$$

Krypgrundstemperaturen (14.7) blir:

$$T_{krypgrund} = \frac{K_v \cdot T_u + K_{socklar} \cdot T_u + K_{mark} \cdot \overline{T}_u + K_{bjälklag} \cdot T_i}{K_v + K_{socklar} + K_{mark} + K_{bjälklag}} = \frac{26.7 \cdot 8.5 + 88.6 \cdot 8.5 + 50.7 \cdot 7 + 64 \cdot 22}{26.7 + 88.6 + 50.7 + 64} = 11.9°\text{C}$$

Temperaturen i marken (14.13) under lecaskiktet kan beräknas enligt:

$$Q_{mark} = A_{mark} \cdot U_0 (T_{krypgrund} - \overline{T}_u) = \frac{A_{mark}}{R_{leca} + R_{si}} (T_{krypgrund} - T_{soil}) \Rightarrow$$

$$T_{soil} = T_{krypgrund} - \left(R_{leca} + R_{si}\right) \cdot U_0 (T_{krypgrund} - \overline{T}_u)$$

Med insatta värden får vi:

$$T_{soil} = 11.9 - \left(\frac{0.2}{0.09} + 0.13\right) \cdot 0.317 \cdot (11.9 - 7) = 8.2\,°\text{C}$$

Eftersom vi kan räkna med att RF=100% i marken får vi följande ånghalt:

$$v_{soil} = v_s(8.2) = 8.37\text{g/m}^3$$

Uteånghalten är:

$$v_u = \varphi_u \cdot v_s(T_u) = 0.8 \cdot 8.53 = 6.82\text{g/m}^3$$

Ånghalten i krypgrunden kan beräknas med (14.11):

$$v_{krypgrund} = \frac{R_{au} \cdot v_u + \dfrac{A_{mark}}{Z_{leca}} v_{soil}}{R_{au} + \dfrac{A_{mark}}{Z_{leca}}} = \frac{nV \cdot v_u + \dfrac{A_{mark}}{d_{leca} / \delta_{leca}} v_{soil}}{nV + \dfrac{A_{mark}}{d_{leca} / \delta_{leca}}} = \frac{\dfrac{0.5}{3600} A_{mark} \cdot 1 \cdot v_u + \dfrac{A_{mark}}{d_{leca} / \delta_{leca}} v_{soil}}{\dfrac{0.5}{3600} A_{mark} \cdot 1 + \dfrac{A_{mark}}{d_{leca} / \delta_{leca}}}$$

Vi kan förkorta bort arean och stoppa in värden:

$$v_{krypgrund} = \frac{\dfrac{0.5}{3600} v_u + \dfrac{1}{d_{leca} / \delta_{leca}} v_{soil}}{\dfrac{0.5}{3600} + \dfrac{1}{d_{leca} / \delta_{leca}}} = \frac{\dfrac{0.5}{3600} 6.82 + \dfrac{1}{0.2 / 25 \cdot 10^{-6}} 8.37}{\dfrac{0.5}{3600} + \dfrac{1}{0.2 / 25 \cdot 10^{-6}}} = 7.55 \, \mathrm{g/m^3}$$

RF i krypgrunden blir:

$$\varphi_{krypgrund} = \frac{v_{krypgrund}}{v_s(T_{krypgrund})} = \frac{7.55}{v_s(11.9)} = \frac{7.55}{10.59} = 0.71$$

Dvs. ca RF lika med ca 71%.

57

Enligt Beräkningsmodul 14E.

Formel (14.14) kan användas. Först behöver grundens U-värde beräknas enligt (14.4-5).

$$b = \frac{A}{P/2} = \frac{12 \cdot 8}{2 \cdot (12+8)/2} = 4.8 \, \mathrm{m}$$

Den ekvivalenta isoleringstjockleken blir, (14.3):

$$d_t = d_w + \lambda_{mark} \cdot R_{tot} = 0.25 + 2.3 \cdot R_{tot}$$

Värmemotståndet ges av:

$$R_{tot} = R_s + \sum \frac{d_{isol}}{\lambda_{isol}} + R_{se} = 0.09 + \frac{0.014}{0.14} + \frac{0.1}{0.035} + 0.04 = 3.09 \, \mathrm{m^2K/W}$$

Vilket ger:

$$d_t = 0.25 + 2.3 \cdot 3.09 = 7.36 \, \mathrm{m}$$

Eftersom denna tjocklek är större än bredden *b* kan formel (14.4) användas.

$$U = \frac{\lambda_{mark}}{0.457 \cdot b + d_t} = \frac{2.3}{0.457 \cdot 4.8 + 7.36} = 0.24 \, \mathrm{W/m^2K}$$

Värmemotståndet från rörens position in till inomhusluften:

$$R_{in} = R_s + R_{parkett} + R_{betong} = 0.09 + \frac{0.014}{0.14} + \frac{0.15}{1.7} = 0.28 \, \mathrm{m^2K/W}$$

Isoleringsverkningsgraden (14.14) blir:

$$\eta = 1 - U \cdot R_{in} = 1 - 0.24 \cdot 0.28 = 0{,}93$$

Detta betyder att 7% av energin går förlorad som förlust utåt:

$$0.07 \cdot 15000 \approx 1000 \, \mathrm{kWh}$$