

## 2. Solární kolektor

### 2.1. Potřeba tepla na ohřev vody

Dán válcový zásobník o objemu 200 l. Průměr zásobníku je 0.4 m, výška 1.59 m. Zásobník je opatřen tepelnou izolací tl. 50 mm s tepelnou vodivostí 0.04 W/mK. Každý den je celý objem zásobníku spotřebován pro hygienické účely. Zásobník je ohříván na teplotu 60 °C, teplota studené vody přicházející do zásobníku je 15 °C. Stanovte denní potřebu tepla na ohřev vody a krytí tepelných ztrát zásobníku. Stanovte přírážku na tepelné ztráty (podíl ztrát k samotné potřebě tepla na ohřev vody).

Potřeba tepla na ohřev vody

$$Q_{TV} = V\rho c(t_{TV} - t_{SV}) = 0.2 \cdot 1000 \cdot 4187 \cdot (60 - 15) = 37.6 \text{ MJ/den} = 10.5 \text{ kWh/den}$$

Součinitel prostupu tepla se stanoví při zjednodušení jako pro rovinnou stěnu (válcová stěna o průměru 0.4 m je přibližně rovinná)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{0.05}{0.04} + \frac{1}{8}} = 0.72 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Povrch pláště zásobníku (zvolíme střední hodnotu)

$$A = 2 \cdot \frac{\pi(D+s)^2}{4} + \pi(D+s)(H+s) = 2 \cdot \frac{\pi(0.4+0.05)^2}{4} + \pi(0.4+0.05)(1.59+0.05) = 2.6 \text{ m}^2$$

Při výpočtu se vztahem pro válcovou stěnu by měrná ztráta zásobníku byla

$$UA = \frac{H}{\frac{1}{\pi D h_i} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{(D+2s)}{D} + \frac{1}{\pi(D+2s)h_e}} + 2 \cdot \frac{\pi(D+s)^2}{4} \left( \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} \right)$$
$$UA = \frac{1.59}{\frac{1}{\pi \cdot 0.4 \cdot 100} + \frac{1}{2\pi \cdot 0.04} \ln \frac{0.5}{0.4} + \frac{1}{\pi \cdot 0.5 \cdot 8}} + 2 \cdot \frac{\pi(0.45)^2}{4} \left( \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{0.05}{0.04} + \frac{1}{8}} \right)$$

$$UA = 1.86 \text{ W/K}$$

Tepelná ztráta zásobníku

$$\dot{Q}_z = UA(t_{TV} - t_e) = 0.72 \cdot 2.6 \cdot (60 - 20) = 76 \text{ W (rovinná stěna)} = 74 \text{ W (válcová stěna)}$$

$$Q_z = \dot{Q}_z \cdot \Delta\tau = 76 \cdot 24 = 1.8 \text{ kWh/den} = 1.8 \text{ kWh/den}$$
$$p = \frac{Q_z}{Q_{TV}} = \frac{1.8}{10.5} = 0.17$$
$$Q_{p,TV} = Q_{TV} + Q_z = 10.5 + 1.8 = 12.3 \text{ kWh/den}$$

Je dán nízkoenergetický dům v Praze s tepelnou ztrátou 5 kW stanovenou pro výpočtové hodnoty venkovní teploty  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vnitřní teploty  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vytápěná podlahová plocha je  $150\text{ m}^2$ . Stanovte denní ztrátu tepla (potřebu tepla na vytápění) pro měsíc duben. Stanovte roční potřebu tepla na vytápění.

$$Q_{z,p} = Q_{z,v} \frac{(t_{i,p} - t_{e,p})}{(t_{i,v} - t_{e,v})} = 5 \frac{(20 - 8.1)}{(20 - (-12))} = 1.86 \text{ kW}$$
$$Q_{p,VYT,den} = 24 \cdot \dot{Q}_{z,v} \frac{(t_{i,p} - t_{e,p})}{(t_{i,v} - t_{e,v})} \varepsilon = 24 \cdot 5 \frac{(20 - 8.1)}{(20 - (-12))} 0.6 = 26.8 \text{ kWh/den}$$
$$Q_{p,VYT,rok} = 24 \cdot d \cdot \dot{Q}_{z,v} \frac{(t_{i,p} - t_{e,p})}{(t_{i,v} - t_{e,v})} \varepsilon = 24 \cdot 225 \cdot 5 \frac{(20 - 4.5)}{(20 - (-12))} 0.6 = 7847 \text{ kWh/rok}$$
$$q_{p,VYT,rok} = \frac{Q_{p,VYT,rok}}{A_p} = \frac{7847}{150} = 52 \text{ kWh/m}^2.\text{rok}$$

## 2.3. Výkon a zisk kolektoru

Stanovte **pro duben** střední denní tepelný výkon a denní tepelný zisk solárního kolektoru (sklon  $45^\circ$ , azimut  $45^\circ$ ), který má parametry

$$\eta_0 = 0.75$$

$$a_1 = 3.5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$a_2 = 0.015 \text{ W/m}^2\text{K}^2$$

celková (hrubá) plocha kolektoru  $A_G = 4 \text{ m}^2$

plocha apertury  $A_a = 3.6 \text{ m}^2$

pro střední teplotu kapaliny v kolektorech  $40^\circ\text{C}$

z tabulek klimatických údajů:

střední denní teplota v době slunečního svitu

$$t_{e,s} = 10.7^\circ\text{C}$$

měsíční úhrn sluneční energie pro sklon  $45^\circ$  a azimut  $45^\circ$

$$H_{T,\text{měs}} = 121 \text{ kWh/m}^2\text{měs}$$

z toho denní úhrn je

$$H_{T,\text{měs}} = 4.03 \text{ kWh/m}^2\text{den}$$

střední denní sluneční ozáření

$$G_{T,m} = 473 \text{ W/m}^2$$

Střední denní účinnost kolektoru

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \frac{(t_m - t_e)}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_e)^2}{G} = \eta_0 - a_1 \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})}{G_{T,m}} - a_2 \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}}$$

$$\eta_k = 0.75 - 3.5 \frac{(40 - 10.7)}{473} - 0.015 \frac{(40 - 10.7)^2}{473} = 0.51$$

Střední denní výkon kolektoru

$$\dot{Q}_k = \eta_k \cdot A_a \cdot G_{T,m} = 0.51 \cdot 3.6 \cdot 473 = 862 \text{ W}$$

Střední denní tepelný zisk kolektoru

$$Q_k = \eta_k \cdot A_a \cdot H_{T,\text{den}} = 0.51 \cdot 3.6 \cdot 4.03 = 7.3 \text{ kWh/den}$$

Špičkový výkon kolektoru (maximální výkon, bez tepelných ztrát), pro  $G = 1000 \text{ W/m}^2$

$$\dot{Q}_{k,\text{peak}} = \eta_0 \cdot A_a \cdot G = 0.75 \cdot 3.6 \cdot 1000 = 2700 \text{ W}$$

Instalovaný (jmenovitý) výkon kolektoru, definovaný pro  $G = 1000 \text{ W/m}^2$ ,  $t_e = 20^\circ\text{C}$ ,  $t_m = 50^\circ\text{C}$

$$\dot{Q}_k = \eta_k \cdot A_a \cdot G_{T,m} = \left[ 0.75 - 3.5 \frac{(50 - 20)}{1000} - 0.015 \frac{(50 - 20)^2}{1000} \right] \cdot 3.6 \cdot 1000 = 2273 \text{ W}$$

## 2.4. Stagnační teplota kolektoru

(= teplota bez odběru tepla,  $\eta_k = 0$  při extrémních podmínkách  $G = 1000 \text{ W/m}^2$ ,  $t_e = 30 \text{ °C}$ )

$$t_{stg} = t_e + G \cdot \left[ \frac{t_m - t_e}{G} \right]_{\eta=0} = 30 + 1000 \cdot \left[ \frac{t_m - t_e}{G} \right]_{\eta=0}$$

nejprve je nutné najít kladný kořen paraboly (křivky účinnosti), tzn. její průsečík s osou  $(t_m - t_e)/G$  (bod nulové účinnosti)

$$\left[ \frac{t_m - t_e}{G} \right]_{\eta=0} = x_1 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\left[ \frac{t_m - t_e}{G} \right]_{\eta=0} = \frac{a_1 \pm \sqrt{a_1^2 + 4 \cdot a_2 \cdot G \cdot \eta_0}}{-2 \cdot a_2 \cdot G} = \frac{3.5 \pm \sqrt{3.5^2 + 4 \cdot 0.015 \cdot 1000 \cdot 0.75}}{-2 \cdot 0.015 \cdot 1000} = 0.136 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$t_{stg} = 30 + 1000 \cdot 0.136 = 166 \text{ °C}$$