

3. Solární soustavy

3.1. Solární příprava teplé vody v rodinném domě

Zadání:

Rodinný dům, 4 osoby, spotřeba teplé vody 35 l/os.den (60 / 15 °C)

$z = 15\%$... přírůžka na tepelné ztráty způsobené dohřívacím zásobníkem a rozvodem TV, bez cirkulace

$\rho = 20\%$... srážka z tepelných zisků vlivem tepelných ztrát solární soustavy (solární zásobník, rozvody) podle tabulky v TNI 73 0302

Úhrn dopadající energie

duben: z tabulek $H_{T,duben} = 127,4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{měs}$

září: z tabulek $H_{T,září} = 105,1 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{měs}$

solární kolektor $\eta = 0,78 - 3,5 \cdot \frac{t_m - t_e}{G} - 0,015 \cdot \frac{(t_m - t_e)^2}{G}$

orientace jih (azimut $\gamma = 0^\circ$), sklon střechy $\beta = 45^\circ$, Praha

Výpočet denní potřeby tepla na ohřev vody

$$Q_{TV} = \frac{n_{os} \cdot V_{os} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3,6 \cdot 10^6} = \frac{4 \cdot 0,035 \cdot 1000 \cdot 4187 \cdot (60 - 15)}{3,6 \cdot 10^6} = 7,3 \text{ kWh/den}$$

Celková denní potřeba tepla na přípravu teplé vody (včetně ztrát)

$$Q_{pc} = Q_{p,TV} = (1 + z)Q_{TV} = (1 + 0,15) \cdot 7,3 = 8,4 \text{ kWh/den}$$

Účinnost kolektoru

pro přípravu teplé vody uvažujeme střední teplotu teplotnosné látky v kolektorech $t_m = 40^\circ\text{C}$

duben: z tabulek $t_{es} = 10,7^\circ\text{C}$, $G_m = 527 \text{ W/m}^2$

$$\eta_k = 0,78 - 3,5 \cdot \frac{40 - 10,7}{527} - 0,015 \cdot \frac{(40 - 10,7)^2}{527} = 0,56$$

září: z tabulek $t_{es} = 17,1^\circ\text{C}$, $G_m = 516 \text{ W/m}^2$

$$\eta_k = 0,78 - 3,5 \cdot \frac{40 - 17,1}{516} - 0,015 \cdot \frac{(40 - 17,1)^2}{516} = 0,61$$

Výpočet plochy kolektoru pro přípravu TV

Návrh uvažuje, že v návrhovém měsíci pokryjí využitelné zisky solární soustavy $Q_{ss,u}$ celkovou potřebu tepla na přípravu teplé vody Q_{pc} . Měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody se stanoví z denní hodnoty a počtu dní n .

$$Q_{pc} = Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,mes} (1 - p) \cdot A_k$$

duben:
$$A_k = \frac{Q_{pc}}{0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,mes} (1 - p)} = \frac{8,4 \cdot 30}{0,9 \cdot 0,56 \cdot 127,4 \cdot (1 - 0,20)} = 4,9 \text{ m}^2$$

září:
$$A_k = \frac{Q_{pc}}{0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,den} (1 - p)} = \frac{8,4 \cdot 30}{0,9 \cdot 0,63 \cdot 105,1 \cdot (1 - 0,20)} = 5,5 \text{ m}^2$$

Zvolíme průměrnou hodnotu cca **5,2 m²**. Při volbě počtu kolektorů (2 nebo 3 kolektory á 2 m²) zohledníme možnost využití letních přebytků. Nabízí se však otázka, kolik kolektorů zvolit, pokud aktivní plocha jednoho kolektoru je 2 m². Jak se promítne volba počtu kolektorů do celoroční bilance solární soustavy? Viz další příklad.

3.2. Celoroční bilance solární přípravy teplé vody v rodinném domě

Pro každý měsíc je obdobným postupem stanovena potřeba tepla a využitelný zisk kolektorů

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_T \cdot A_k \cdot (1 - p)$$

Využitý zisk solární soustavy se stanoví pro každý měsíc ze vztahu

$$Q_{ss,u} = \min(Q_{k,u}, Q_{pc})$$

Výpočet je proveden pro 4 m² a pro 6 m² pro srovnání průběhů přebytků energie v letním období, viz výsledkové tabulky.

Příklad pro 4 m²

$$\sum Q_{ss,u} = 1893 \text{ kWh / rok}$$

$$q_{ss,u} = \frac{\sum Q_{ss}}{A_a} = \frac{1896}{4} = 474 \text{ kWh / m}^2 \cdot \text{rok}$$

$$f = \frac{\sum Q_{ss}}{\sum Q_{pc}} = \frac{1896}{3076} = 0,62$$

Příklad pro 6 m²

$$\sum Q_{ss,u} = 2280 \text{ kWh / rok}$$

$$q_{ss,u} = \frac{\sum Q_{ss}}{A_a} = \frac{2280}{6} = 372 \text{ kWh / m}^2 \cdot \text{rok}$$

$$f = \frac{\sum Q_{ss}}{\sum Q_{pc}} = \frac{2280}{3076} = 0,74$$

Dále je možné pro obě varianty stanovit účinnost celé solární soustavy

$$\eta_{ss} = \frac{Q_{ss,u}}{H_{T,rok} \cdot A_k} = \frac{1893}{1147 \cdot 4} = 0,41$$

$$\eta_{ss} = \frac{Q_{ss,u}}{H_{T,rok} \cdot A_k} = \frac{2280}{1147 \cdot 6} = 0,33$$

Výsledky výpočtu pro 4 m²

V	140	l	azimut γ	0	°	η_0	0,78		
t_{w1}	10	°C	sklon β	45	°	a_1	3,5	W/m ² .K	
t_{w2}	55	°C	t_m	40	°C	a_2	0,015	W/m ² .K ²	
ρ	20	%				A_{k1}	4	m ²	
z	15	%							

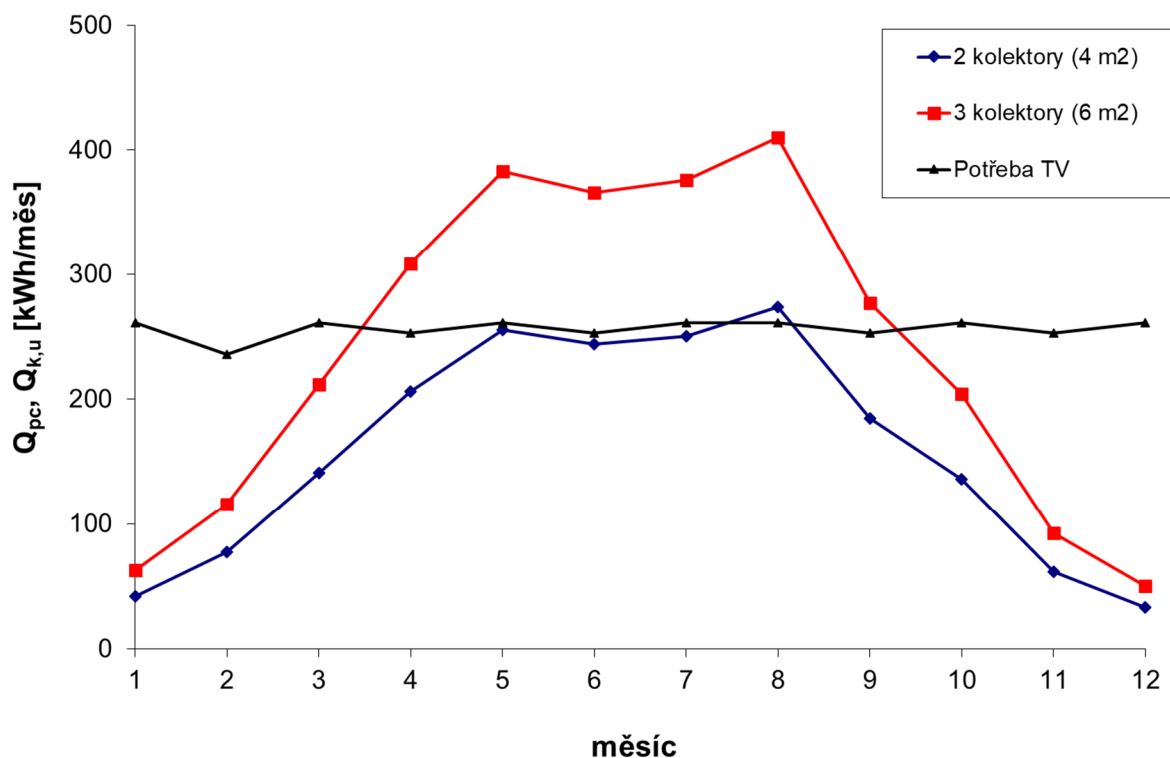
měsíc	n	t_{ep}	t_{es}	$G_{stř}$	$H_{T,měs}$	η_k	$Q_{p,TV}$	Q_{ku}	$Q_{ss,u}$
		°C	°C	W/m ²	kWh/m ² .měs	–	kWh/měs	kWh/měs	kWh/měs
1	31	-1,5	1,8	418	35,7	0,41	261	42	42
2	28	0	2,7	489	57,1	0,47	236	77	77
3	31	3,2	6,3	535	93,0	0,53	261	141	141
4	30	8,8	10,7	527	127,4	0,56	253	206	206
5	31	13,6	16	521	147,3	0,60	261	255	255
6	30	17,3	18,6	517	136,1	0,62	253	244	244
7	31	19,2	20,5	512	136,9	0,64	261	251	251
8	31	18,6	21,1	515	148,1	0,64	261	273	261
9	30	14,9	17,1	516	105,1	0,61	253	184	184
10	31	9,4	11,7	488	85,6	0,55	261	136	136
11	30	3,2	6,4	427	46,1	0,46	253	62	62
12	31	-0,2	3,6	387	29,0	0,40	261	33	33
					1147		3076		1893

Výsledky výpočtu pro 6 m²

V	140	l	azimut γ	0	°	η_0	0,78		
t_{w1}	10	°C	sklon β	45	°	a_1	3,5	W/m ² .K	
t_{w2}	55	°C	t_m	40	°C	a_2	0,015	W/m ² .K ²	
ρ	20	%				A_{k1}	6	m ²	
z	15	%							

měsíc	n	t_{ep}	t_{es}	$G_{stř}$	$H_{T,měs}$	η_k	$Q_{p,TV}$	Q_{ku}	$Q_{ss,u}$
		°C	°C	W/m ²	kWh/m ² .měs	–	kWh/měs	kWh/měs	kWh/měs
1	31	-1,5	1,8	418	35,7	0,41	261	63	63
2	28	0	2,7	489	57,1	0,47	236	116	116
3	31	3,2	6,3	535	93,0	0,53	261	212	212
4	30	8,8	10,7	527	127,4	0,56	253	309	253
5	31	13,6	16	521	147,3	0,60	261	383	261
6	30	17,3	18,6	517	136,1	0,62	253	366	253
7	31	19,2	20,5	512	136,9	0,64	261	376	261
8	31	18,6	21,1	515	148,1	0,64	261	410	261
9	30	14,9	17,1	516	105,1	0,61	253	277	253
10	31	9,4	11,7	488	85,6	0,55	261	204	204
11	30	3,2	6,4	427	46,1	0,46	253	93	93
12	31	-0,2	3,6	387	29,0	0,40	261	50	50
					1147		3076		2280

Z bilance solární soustavy pro přípravu teplé vody vyplývá tedy názorně, že volba většího počtu kolektorů vede k vyššímu pokrytí potřeby tepla (vyšším absolutním úsporám), avšak horšímu využití instalované plochy = nižším měrným ziskům, horší konečné ekonomice projektu.



Graf průběhu **využitelných** zisků solární soustavy $Q_{k,u}$ a potřeby tepla Q_{pc} během roku. Průnik ploch pod těmito křivkami jsou **využité** solární zisky $Q_{ss,u}$.

3.3. Srážka z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát

Zadání:

Dána solární soustava pro přípravu teplé vody ve dvou variantách. Obě dvě varianty jsou navrženy jako soustavy s vysokým průtokem 50 l/h.m^2 (high-flow). Provoz oběhového čerpadla je 2000 hodin. Izolované potrubí má délku 30 m. Pro přípravu teplé vody uvažujeme střední teplotu teplotnosné látky v kolektorech $t_m = 40 \text{ }^\circ\text{C}$. Venkovní průměrná roční teplota je zvolena $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Stanovte srážku z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát.

$$\lambda_{iz} = 0.04 \text{ W/m.K.}$$

$$h_e = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$w_{ek} = 0,6 \text{ m/s}$$

První varianta

Plocha solárních kolektorů 20 m^2

$$Q_{k,u} = 9500 \text{ kWh/rok (475 x 20)}$$

Druhá varianta

Plocha solárních kolektorů 4 m^2

$$Q_{k,u} = 1900 \text{ kWh/rok (475 x 4)}$$

První varianta

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,000278}{\pi \cdot 0,6}} = 0,024 \text{ m}$$

Volíme potrubí 28 x 1,5, tloušťka izolace 28mm

Součinitel prostupu tepla se stanoví

$$U = \frac{1}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln\left(\frac{d_e + 2 \cdot s_{iz}}{d_e}\right) + \frac{1}{\pi h_e d_e}} = \frac{1}{\frac{1}{2\pi \cdot 0,04} \ln\left(\frac{0,028 + 2 \cdot 0,028}{0,028}\right) + \frac{1}{\pi \cdot 20 \cdot 0,028}} = 0,219 \text{ W/m.K}$$

Ztráta tepla

$$Q_z = U \cdot L \cdot (t_m - t_e) \cdot \tau = 0,216 \cdot 30 \cdot (40 - 10) \cdot 2000 = 395 \text{ kWh}$$

$$p = \frac{Q_z}{Q_k} = \frac{395}{9500} = 0,04$$

Druhá varianta

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,5 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot 0,6}} = 0,011 \text{ m}$$

Volíme potrubí 15 x 1, tloušťka izolace 15 mm

Součinitel prostupu tepla se stanoví

$$U = \frac{1}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln\left(\frac{d_e + 2 \cdot s_{iz}}{d_e}\right) + \frac{1}{\pi h_e d_e}} = \frac{1}{\frac{1}{2\pi \cdot 0,04} \ln\left(\frac{0,015 + 2 \cdot 0,015}{0,015}\right) + \frac{1}{\pi \cdot 20 \cdot 0,015}} = 0,212 \text{ W/m.K}$$

Ztráta tepla

$$Q_z = U \cdot L \cdot (t_m - t_e) \cdot \tau = 0,212 \cdot 30 \cdot (40 - 10) \cdot 2000 = 381 \text{ kWh}$$

$$p = \frac{Q_z}{Q_k} = \frac{381}{1900} = 0,20$$

Výsledky příkladu názorně ukazují, proč větší solární soustavy mají nižší měrné ztráty a zároveň proč jejich měrné využití solární zisky (a tedy i ekonomika) jsou zpravidla vyšší než měrné zisky malých soustav pro rodinné domy.