

Wstępne obliczenia w CalcTEX-u do projekt instalacji solarne dla c.w.u

CalcTEX

29 listopada 2009

Spis treści

1 Kolektor	1
1.1 Założenia i obliczenia wstępne instalacji podgrzewania cwu przy wykorzystaniu kolektora słonecznego	1
1.2 Ilość energii promieniowania słonecznego	3
1.2.1 Dla kolektora	3
1.3 Obliczenie wymaganej powierzchni kolektora	3
1.3.1 Wymiary kolektora	3
1.3.2 Liczba kolektorów	3
1.3.3 Dobór zasobnika c.w.u	4
1.3.4 Obieg solarny	4
1.4 Orientacyjny czas zwrotu instalacji	7
1.5 Spalanie gazu	7
1.6 Prąd elektryczny	8
1.7 Roczne zużycie paliwa	8
1.8 Roczny koszt paliwa	8
1.9 Jednostkowa oszczędność	8
1.10 Orientacyjne oszacowanie czasu zwrotu instalacji w latach	9
1.11 Podsumowanie	9

1 Kolektor

1.1 Założenia i obliczenia wstępne instalacji podgrzewania cwu przy wykorzystaniu kolektora słonecznego

$SF := 100 \cdot \%$ – solarny stopień pokrycia

$l_o := 4$ – liczba osób w budynku

$\dot{V}_o := 80 \cdot \text{l/doba}$ – dzienne zapotrzebowanie na ciepłą wodę dla jednej osoby

$\tau_b := 1 \cdot \text{rok}$ czas bazowy – czas 1 pełnego okresu rozliczeniowego

$\dot{V}_r := 100 \cdot \text{l/doba}$ – ilość wody w rezerwie $\dot{V}_r \cdot (\text{dm}^3/\text{doba})^{-1} = 100.0$

Całkowite zapotrzebowanie na c.w.u

$$\dot{V}_{bw} := l_o \cdot \dot{V}_o + \dot{V}_r \quad \dot{V}_{bw} \cdot (\text{dm}^3/\text{doba})^{-1} = 420.0$$

Zapotrzebowanie na energię do podgrzewacza

$T_{bw} := 60 \cdot ^\circ\text{C}$ temperatura wyjściowa z kolektora

$T_{kw} := 8 \cdot ^\circ\text{C}$ temperatura wejściowa przed kolektrem

$T_w := T_{kw} + 0.75 \cdot (T_{bw} - T_{kw})$ temperatura wody przyjęta do wyznaczania stałych wody

$T_w \cdot ^\circ\text{C}^{-1} = 47.0$

przyjęta gęstość wody

$\rho_w := \rho_{H_2O}(T_w)$ $\rho_w \cdot (\text{kg}/\text{m}^3)^{-1} = 989.39571259$

ciepło właściwe wody

$c := c_{H_2O}(T_w)$ $c \cdot (\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}))^{-1} = 4.1977154025$

Lepkość wody $\nu_w := \nu_{H_2O}(T_w)$

$$Q_{bw} := \dot{V}_{bw} \cdot \rho_w \cdot c \cdot (T_{bw} - T_{kw}) \quad Q_{bw} \cdot (\text{kWh}/\text{doba})^{-1} = 25.1960898396$$

$L_p := 80 \cdot \text{m}$ wstępnie zakładana długość przewodów

Strata ciepła obliczona z zależności (1): dla współczynników prostej: $a_1 := (800 \cdot \text{W} \cdot \text{hr}/\text{doba})/70 \cdot \text{m}$,

Dzienny czas użytkowania c.w.u. z instalacji

$t_1 := 6.00 \cdot \text{hr}$ – początek pracy

$t_2 := 9.00 \cdot \text{hr}$ – koniec pracy $\Delta t_r := t_2 - t_1$ $\Delta t_r \cdot \text{hr}^{-1} = 3.0$

$t_3 := 17.00 \cdot \text{hr}$ – początek pracy

$t_4 := 22.00 \cdot \text{hr}$ – koniec pracy $\Delta t_w := t_4 - t_3$ $\Delta t_w \cdot \text{hr}^{-1} = 5.0$

czyli łącznie

$$t_s := (t_2 - t_1) + (t_4 - t_3); \quad t_s \cdot \text{hr}^{-1} = 8.0$$

czas strat podczas pracy instalacji

$$Q_{vz} := a_1 \cdot L_p \cdot \frac{t_s}{2 \cdot \text{hr}}; \quad Q_{vz} \cdot (\text{kWh}/\text{doba})^{-1} = 3.65714285714 \quad (1)$$

Oszacowanie pojemności zasobnika solarnego

Zasobnik powinien wystarczyć na $t_z := 1.5 \cdot \text{doba}$

$$V_w := t_z \cdot \dot{V}_{bw}; \quad V_w \cdot \text{dm}^{-3} = 630.0$$

Współczynnik strat ciepła $k_A := 3 \cdot \text{W}/^\circ\text{C}$

Strata ciepła obliczona na podstawie liniowej zależności (5) przy ogólnej postaci prostej

(2) dla współczynników prostej wyliczonych z (3) i (4)

$$y(x) = a \cdot x + b \quad (2)$$

Ogólne dane pomiarowe:

$y_1 := 600 \cdot \text{W} \cdot \text{hr}/\text{doba}$, $y_2 := 3600 \cdot \text{W} \cdot \text{hr}/\text{doba}$,

$x_1 := 1 \cdot \text{W}/\text{K}$, $x_2 := 6 \cdot \text{W}/\text{K}$, dają współczynniki prostej:

$$a := \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \quad a \cdot \left(\frac{\text{W} \cdot \text{hr}/\text{doba}}{\text{W}/\text{K}} \right)^{-1} = 600.0 \quad (3)$$

$$b := \frac{x_2 \cdot y_1 - x_1 \cdot y_2}{x_1 - x_2}; \quad b \cdot \left(\frac{\text{W} \cdot \text{hr}}{\text{doba}} \right)^{-1} = -0.0 \quad (4)$$

$a_2 := a$ $b_2 := b$ lub za pomocą funkcji obliczającej współczynniki prostej przechodzącej przez punkty $(x_1, y_1); (x_2, y_2)$

$$a, b := aW1(x_1, x_2, y_1, y_2); \quad a \cdot \left(\frac{W \cdot \text{hr}/\text{doba}}{W/K} \right)^{-1} = 600.0; \quad b \cdot \left(\frac{W \cdot \text{hr}}{\text{doba}} \right)^{-1} = 0.0$$

$$Q_{vs} := a_2 \cdot k_A + b_2; \quad Q_{vs} \cdot (\text{kWh}/\text{doba})^{-1} = 1.8 \quad (5)$$

Wymagany roczny zysk solarny

$$Q_{sol} := SF \cdot (Q_{bw} + Q_{vz} + Q_{vs}); \quad Q_{sol} \cdot (\text{kWh}/\text{rok})^{-1} = 11188.0$$

1.2 Ilość energii promieniowania słonecznego

1.2.1 Dla kolektora

Ilość promieniowania na powierzchni horyzontalną $E := 1092 \cdot \text{kWh}/\text{m}^2$, wg. Krner W. dla $\beta := 45 \cdot \text{deg}$ wynosi $f_{bg} := 1.14$

Promieniowanie na pochyloną powierzchnię kolektora

$$E_k := E \cdot f_{bg}; \quad E_k \cdot (\text{kWh}/\text{m}^2)^{-1} = 1244.88$$

1.3 Obliczenie wymaganej powierzchni kolektora

Wymierny współczynnik sprawność dla kolektora $\eta_k := 0.625$.

Sprawność całej instalacji solarnej $\eta_i := 0.48$.

Wymagana całkowita powierzchnia absorbera

$$Q_{sol} \cdot (\text{kWh}/\text{rok})^{-1} = 11188.0, \quad E_k \cdot (\text{kWh}/\text{m}^2)^{-1} = 1244.88,$$

$$A_a := \frac{Q_{sol} \cdot \tau_b}{E_k \cdot \eta_i}; \quad A_a \cdot (\text{m})^{-2} = 18.7233575391$$

1.3.1 Wymiary kolektora

Wymiary kolektora próżniowego $a_k := 1040 \cdot \text{mm} \times b_k := 2040 \cdot \text{mm}$ więc powierzchnia jednego kolektora $A_k := a_k \cdot b_k$ wynosi $A_k \cdot (\text{m})^{-2} = 2.1216$.

$A_A := 1.73 \cdot \text{m}^2$ – powierzchnia absorbera

1.3.2 Liczba kolektorów

$$n := \frac{A_a}{A_A} \quad n = 10.8227500226$$

$n := \text{ceil}(n)$; $n = 11.0$ łączna powierzchnia absorbera kolektorowego

$$A_{ef} := n \cdot A_A; \quad A_{ef} \cdot (\text{m})^{-2} = 19.03$$

Tablica 1: Podstawowe dane techniczne płaskiego próżniowego kolektora 400V firmy Helostar

Szyba	harowane solarne szkło o grubości $g_s := 4 \cdot \text{mm}$
podłączenie z obwodem	szybko złączka $\Phi := 40 \cdot \text{mm}$
Izolacja	próżnia $p := 100 \cdot \text{Pa}$
całkowita objętość wężownicy	$V_w := 1.3 \cdot \text{dm}^3$
Waga	$m_k := 48 \cdot \text{kg}$
Zalecany przepływ cieczy na 1 kolektor	$\dot{V}_{k_{min}} := 30 \cdot \text{dm}^3/(\text{hr} \cdot \text{m}^2)$ $\dot{V}_{k_{max}} := 100 \cdot \text{dm}^3/(\text{hr} \cdot \text{m}^2)$
Sprawność opyczna	$\eta_o := 81 \cdot \%$
temperatura pracy powyżej	$t_{pk} := 100 \cdot \text{°C}$
Max. temp. przy promieniowaniu $E_p := 1 \cdot \text{MW/m}^2$ i temp. zew. $t_z := 25 \cdot \text{°C}$	$t_{max_k} := 219 \cdot \text{°C}$
Max. ciśnienie cieczy solarnej	$p_{max_{cs}} := 600 \cdot \text{kPa}$

1.3.3 Dobór zasobnika c.w.u

Obliczenia pojemności zasobnika

$$V_s := \left(75 \cdot \frac{\text{dm}^3}{\text{m}^2}\right) \cdot A_{ef}; \quad V_s \cdot \text{dm}^{-3} = 1427.25$$

$$V_s := \text{ceil}(V_s \cdot 10)/10 \dots\dots\dots V_s \cdot (\text{dm})^{-3} = 1500.0$$

Wymagana powierzchnia solarnego wymiennika ciepła mieści się w granicach od

$$A_{wc1} := \frac{6 \cdot \text{m}^2}{30 \cdot \text{m}^2} \cdot A_{ef}; \quad A_{wc1} \cdot (\text{m})^{-2} = 3.806 \tag{6}$$

do

$$A_{wc2} := \frac{9.2 \cdot \text{m}^2}{30 \cdot \text{m}^2} \cdot A_{ef}; \quad A_{wc2} \cdot (\text{m})^{-2} = 5.83586666667 \tag{7}$$

1.3.4 Obieg solarny

Strata ciśnienia w rurociągu $d_r := 20 \cdot \text{mm}$ – średnica rurociągu

$$\dot{V}_k := \dot{V}_{k_{min}} \quad \dot{V}_k \cdot \left(\frac{\text{dm}^3}{\text{hr} \cdot \text{m}^2}\right)^{-1} = 30.0$$

całkowity strumień przepływu

$$\dot{V}_{sk} := \dot{V}_k \cdot n \cdot A_A; \quad \dot{V}_{sk} \cdot (\text{l/hr})^{-1} = 570.9$$

Strata ciśnienia w wymienniku ciepła

$$\Delta p_{wt} := 400 \cdot \text{mbar}$$

strata ciśnienie w pojedynczym kolektorze

$$\dot{V}_1 := \dot{V}_{k_{min}}, \quad \dot{V}_2 := \dot{V}_{k_{max}}$$

dla temperatury $tp_1 := 20 \cdot ^\circ\text{C}$, $p_{20_1} := 2.09 \cdot \text{kPa}$, $p_{20_2} := 7.8 \cdot \text{kPa}$

dla temperatury $tp_2 := 50 \cdot ^\circ\text{C}$, $p_{50_1} := 0.95 \cdot \text{kPa}$, $p_{50_2} := 3.2 \cdot \text{kPa}$

$$a_{20}, b_{20} := aW1(\dot{V}_1, \dot{V}_2, p_{20_1}, p_{20_2}); \quad a_{50}, b_{50} := aW1(\dot{V}_1, \dot{V}_2, p_{50_1}, p_{50_2})$$

$$a_{20} = 293657142.857; \quad b_{20} = -357.142857143; \quad a_{50} = 115714285.714; \quad b_{50} = -14.2857142857$$

$$\Delta p_{50_{ke}} := a_{50} \cdot \dot{V}_k + b_{50}; \quad \Delta p_{50_{ke}} \cdot (\text{kPa})^{-1} = 0.95 \quad (8)$$

$$\Delta p_{20_{ke}} := a_{20} \cdot \dot{V}_k + b_{20}; \quad \Delta p_{20_{ke}} \cdot (\text{kPa})^{-1} = 2.09 \quad (9)$$

$$\Delta p_{ke} := 0.5 \cdot (\Delta p_{50_{ke}} + \Delta p_{20_{ke}}) \quad \Delta p_{ke} \cdot \text{kPa}^{-1} = 1.52; \quad \Delta p_{ke} \cdot \text{mbar}^{-1} = 15.2$$

Strata ciśnienia w polu kolokterowym

$$\Delta p_k := n \cdot \Delta p_{ke}; \quad \Delta p_k \cdot \text{mbar}^{-1} = 167.2$$

Predkość w rurze – przewodzie instalacji dla średnicy $d_r \cdot \text{mm}^{-1} = 20.0$ i przekroju pola przepływu $A_r := \pi \cdot d_r^2 / 4.0$ $A_r \cdot (\text{mm})^{-2} = 314.159265359$
wynosi

$$w := \frac{\dot{V}_{sk}}{A_r} \quad w \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^{-1} = 0.50478642784$$

Liczba Reynoldsa dla przepływu w rurze

$$\text{Re} := \frac{w \cdot d_r}{\nu_w}; \quad \text{Re} = 17451.6624529$$

dla laminarnego przepływu $\text{Re} < 2300$

$$\lambda_r := \frac{64.0}{\text{Re}} \quad \lambda_r = 0.00366727239727$$

dla turbulენტnego

$$\lambda_r := \frac{0.3164}{\sqrt{\text{Re}}} \quad \lambda_r = 0.00239506923741$$

Ogólnie przy wykorzystaniu funkcji

$$\lambda_r := L_r(\text{Re}); \quad \lambda_r = 0.00239506923741$$

jednostkowa strata ciśnienia w przewodach rurowych

$$\Delta p_L := 9.5 \cdot \text{mbar/m}$$

$$\Delta p_L := \rho_w \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \lambda_r \cdot \frac{1 \cdot \text{m}}{d_r}; \quad \Delta p_L \cdot (\text{Pa/m})^{-1} = 15.0953589498 \quad (10)$$

Całkowita strata ciśnienia w przewodach rurowych o zakładanej długości $L_R := 26 \cdot \text{m}$

$$\Delta p_R := 2 \cdot L_R \cdot \Delta p_L; \quad \Delta p_R \cdot \text{mbar}^{-1} = 7.84958665391$$

$n_k := 3 \cdot n$ ilość kolanek

$$n_k = 33.0$$

$\xi_k := 0.5$ współczynnik strat dla kolanka

$$\Delta p_k := \rho_w \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \xi_k \quad \Delta p_k \cdot \text{Pa}^{-1} = 63.0268165698$$

$$\Delta p_{k_t} := n_k \cdot \Delta p_k; \quad \Delta p_{k_t} \cdot \text{mbar}^{-1} = 20.798849468$$

$n_t := 2 \cdot n \quad \xi_t := 0.5$ współczynnik strat dla trójkąta

$$\Delta p_t := \rho_w \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \xi_t \quad \Delta p_t \cdot \text{Pa}^{-1} = 63.0268165698$$

$$\Delta p_{t_t} := n_t \cdot \Delta p_t; \quad \Delta p_{t_t} \cdot \text{mbar}^{-1} = 13.8658996454$$

$n_z := 4 \quad \xi_z := 8$ współczynnik strat dla zaworu odcinającego

$$\Delta p_z := \rho_w \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \xi_z \quad \Delta p_z \cdot \text{Pa}^{-1} = 1008.42906512$$

$$\Delta p_{z_t} := n_z \cdot \Delta p_z; \quad \Delta p_{z_t} \cdot \text{mbar}^{-1} = 40.3371626047$$

$n_o := 6 \quad \xi_o := .5$ współczynnik strat dla zasuwki odcinającej

$$\Delta p_o := \rho_w \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \xi_o \quad \Delta p_o \cdot \text{Pa}^{-1} = 63.0268165698$$

$$\Delta p_{o_t} := n_o \cdot \Delta p_o; \quad \Delta p_{o_t} \cdot \text{mbar}^{-1} = 3.78160899419$$

$n_w := 2 \quad \xi_w := .5$ wsp. strat dla zaworu zwrotnego

$$\Delta p_w := \rho_w \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \xi_w \quad \Delta p_w \cdot \text{Pa}^{-1} = 63.0268165698$$

$$\Delta p_{w_t} := n_w \cdot \Delta p_w; \quad \Delta p_{w_t} \cdot \text{mbar}^{-1} = 1.2605363314$$

$$\sum p_i = \Delta p_{ar} := \Delta p_{k_t} + \Delta p_{t_t} + \Delta p_{z_t} + \Delta p_{o_t} + \Delta p_{w_t}; \quad \Delta p_{ar} \cdot \text{mbar}^{-1} = 80.0440570437 \quad (11)$$

Całkowita strata ciśnienie w obiegu solarnym jest sumą strat ciśnienia w polu kolektorowym, wymienniku zasobnika c.w.u., przewodach rurowych oraz armatury

$$\Delta p_{ges} := \Delta p_{wt} + \Delta p_k + \Delta p_R + \Delta p_{ar}; \quad \Delta p_{ges} \cdot \text{mbar}^{-1} = 488.523911863$$

Dobór pompy obiegu cyrkulacyjnego: $\Delta p_{ges} \cdot \text{mwc}^{-1} = 4.99154061477$ ciśnienie wyrażone w metrach słupa wody (meter of water column) $\dot{V}_{sk} \cdot (\text{m/hr})^{-1} = 0.5709$.

W projekcie pompę umieszczono na parterze budynku w ten sposób, by wysokość podnoszenia statycznego wynosiła $h_s := 4 \cdot \text{m}$

$$\Delta p_s := \rho_w \cdot h_s \cdot g_n; \quad \Delta p_s \cdot \text{mwc}^{-1} = 3.96551387812$$

$$\Delta p_t := \Delta p_s + \Delta p_{ges}; \quad \Delta p_t \cdot \text{mwc}^{-1} = 8.95705449289$$

Ciśnienie znamionowe zaworu bezpieczeństwa $p_b := p_{max_{cs}} - 0.3 \cdot \text{at} \quad p_b \cdot \text{kPa}^{-1} = 570.58005$

Wysokość instalacji $h_i := 6 \cdot \text{m} \quad \Delta p_i := \rho_w \cdot h_i \cdot g_n \quad \Delta p_i \cdot \text{Pa}^{-1} = 58215.9447892$

Ciśnienie wstępne w naczyniu wzbiórczym

$$p_{vor} := \Delta p_i + 0.5 \cdot \text{at}; \quad p_{vor} \cdot \text{mwc}^{-1} = 10.9582908573$$

Ilość cieczy solarnej w przewodach rurowych

średnica przewodu dla $d_r \cdot \text{mm}^{-1} = 20.0$ objętość cieczy w rurze o długości $l_r := 1 \cdot \text{m}$

$$v_r := A_r \cdot l_r; \quad v_r \cdot \left(\frac{\text{dm}^3}{\text{m}} \right)^{-1} = 0.314159265359$$

$$V_r := 2 \cdot L_R \cdot v_r; \quad V_r \cdot l^{-1} = 16.3362817987$$

Ilość cieczy w wymienniku ciepła

$$V_{wt} := 35 \cdot l$$

Ilość cieczy w polu kolektorowym $v_k := 1.3 \cdot l$

$$V_K := v_k \cdot n; \quad V_K \cdot l^{-1} = 14.3$$

Zmienna pojemność obiegu solarnego

$$V_d := V_r + V_{wt} + V_K; \quad V_d \cdot l^{-1} = 65.6362817987$$

Pojemność znamionowa naczynia wzbiorczego $p_b \cdot \text{at}^{-1} = 5.81829727787$

$$V_g := V_d \cdot \left(\frac{p_b + 1 \cdot \text{at}}{p_b - p_{vor}} \right); \quad V_g \cdot l^{-1} = 94.7216721829$$

$$V_g \cdot (\text{m})^{-3} = 0.0947216721829 \quad V_G := \text{round}(V_g/1, -1) \cdot l; \quad V_G \cdot (\text{dm})^{-3} = 90.0$$

1.4 Orientacyjny czas zwrotu instalacji

$k_k := 1365 \cdot \text{PLN}$ koszt zakupu jednego kolektora

$k_z := 11000 \cdot \text{PLN}$ zasobnik c.w.u. – pewnie istnieje dużo tańszy!

$k_p := 1675 \cdot \text{PLN}$ pompa cyrkulacyjna

$k_s := 570 \cdot \text{PLN}$ sterownik

$k_w := 600 \cdot \text{PLN}$ naczynie wzbiorcze

$k_{zm} := 272 \cdot \text{PLN}$ zawór mieszający

$k_{zb} := 15 \cdot \text{PLN}$ zawór bezpieczeństwa

$k_r := 830 \cdot \text{PLN}$ rury miedziane

$k_l := 8.0 \cdot n \cdot \text{PLN}$ łączniki między kolektorami $n = 11.0$ sztuk

$$k_l \cdot \text{PLN}^{-1} = 88.0$$

$k_{wp} := 220 \cdot \text{PLN}$ wskaźnik próżni

$$k_c := n \cdot k_k + k_z + k_p + k_s + k_w + k_{zm} + k_{zb} + k_r + k_l + k_{wp}; \quad k_c \cdot \text{PLN}^{-1} = 30285.0$$

$z_n := 10 \cdot \%$ naddatek

$$K_i := (1 + z_n) \cdot k_c; \quad K_i \cdot \text{PLN}^{-1} = 33313.5$$

Roczne zapotrzebowanie energetyczne dla przygotowania c.w.u.

$$Q_{bwr} := Q_{bw} \cdot \tau_b \quad Q_{bwr} \cdot (\text{kWh})^{-1} = 9196.57279145$$

$$Q_{bw} \cdot (\text{kWh}/\text{doba})^{-1} = 25.1960898396$$

1.5 Spalanie gazu

$\eta_g := 0.65$

$$Q_g := \frac{Q_{bwr}}{\eta_g}; \quad Q_g \cdot (\text{kWh})^{-1} = 14148.5735253$$

1.6 Prąd elektryczny

$$\eta_e := 1.00$$

$$Q_e := \frac{Q_{bwr}}{\eta_e}; \quad Q_e \cdot (\text{kWh})^{-1} = 9196.57279145$$

1.7 Roczne zużycie paliwa

$$W_g := 34.4 \cdot \text{MJ}/\text{m}^3 \quad W_g \cdot (\text{kWh}/\text{m}^3)^{-1} = 9.555555555556$$

$$V_p := \frac{Q_g}{W_g}; \quad V_p \cdot (\text{m})^{-3} = 1480.66467125$$

Olej opałowy $W_o := 11.9 \cdot \text{kWh}/\text{l}$

$$V_o := \frac{Q_g}{W_o}; \quad V_o \cdot (\text{m})^{-3} = 1.18895575843; \quad V_o \cdot (\text{l})^{-1} = 1188.95575843$$

1.8 Roczny koszt paliwa

Gaz ziemny

$$c_g := 1.209 \cdot \text{PLN}/\text{m}^3 - \text{cena gazu}$$

$k_s := 600 \cdot \text{PLN}$ – koszt stałe, ale pewnie należałoby policzyć dokładnie opłata transferowa itp.

$$k_g := V_p \cdot c_g + k_s; \quad k_g \cdot (\text{PLN})^{-1} = 2390.0$$

Olej opałowy

$$c_o := 2.60 \cdot \text{PLN}/\text{dm}^3$$

$$k_o := V_o \cdot c_o; \quad k_o \cdot (\text{PLN})^{-1} = 3091.0$$

Energia elektryczna

$$c_e := 0.412 \cdot \text{PLN}/\text{kWh} - \text{cena za energię elektryczną}$$

$$k_{eu} := 11.47 \cdot \text{PLN}/\text{mce} \cdot \text{rok} - \text{koszt zczytania licznika}$$

$$k_{eu} \cdot \text{PLN}^{-1} = 137.64$$

$$k_e := Q_e \cdot c_e + k_{eu}; \quad k_e \cdot (\text{PLN})^{-1} = 3926.62799008$$

1.9 Jednostkowa oszczędność

gaz

$$O_g := k_g \cdot SF; \quad O_g \cdot (\text{PLN})^{-1} = 2390.0$$

olej

$$O_o := k_o \cdot SF; \quad O_o \cdot (\text{PLN})^{-1} = 3091.0$$

prąd elektryczny

$$O_e := k_e \cdot SF; \quad O_e \cdot (\text{PLN})^{-1} = 3926.62799008$$

Tablica 2: Ważniejsze urządzenia systemu

Urządzenie	Producent	Typ/Nazwa	Informacje
Kolektory	Termosolar	Heliostar 400V	$n = 11.0$ kolektorów płaskich próżniowych połączonych systemem Tichelema, zainstalowanie pod nachyleniem 54° do poziomu konstrukcji
Zasobnik c.w.u.	Duklas	AK3	Pojemność $V_s \cdot \text{dm}^{-3} = 1500.0$ dwie węzownice
pompa cyrkulacyjna	Grundfos	UPS 50-185 F	Wysokość podnoszenia $h_p := 16 \cdot \text{m}$ prsy wydajności $\dot{V}_p := 1.2 \cdot \text{m}^3/\text{hr}$ dla mocy $N_p := 0.835 \cdot \text{kW}$
Sterownik Solarny	Termosolar	DX 4012	Cyfrowy sterownik na pompę i dwie czujki temperatury
Naczynie zbiorcze przeponowe	Mora	Expansomat M	Pojemność $V_G \cdot \text{dm}^{-3} = 90.0$
Zawór bezpieczeństwa	Termosolar	DN 15 6 bar	
Rury miedziane	dowolny	22×1	Łączna długość $L_p \cdot \text{m}^{-1} = 80.0$
Łącznik między kolektorami $n_l := 2 \cdot (n - 1)$ $n_l = 20.0$	Termosolar	$\Phi 40 \text{ H } 400 \text{ V}$	Wymagane do wytworzenia późni w polu kolektorowym
Wspaznik próżni w polu kolektorowym	Termosolar		

1.10 Orientacyjne oszacowanie czasu zwrotu instalacji w latach

gaz

$$z_g := \frac{K_i}{O_g}; \quad z_g = 13.9387029289$$

olej

$$z_o := \frac{K_i}{O_o}; \quad z_o = 10.7775800712$$

energia elektryczna

$$z_e := \frac{K_i}{O_e}; \quad z_e = 8.48399697761$$

1.11 Podsumowanie

$SF \cdot \%^{-1} = 100.0$ – solarny stopień pokrycia

$l_o = 4$ – liczba osób

$\dot{V}_o \cdot (\text{dm}^3/\text{doba})^{-1} = 80.0$ – dzienne zużycie c.w.u. na osobę

$\dot{V}_{bw} \cdot (\text{dm}^3/\text{doba})^{-1} = 420.0$ – całkowite dzienne zużycie c.w.u.

$T_{bw} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} = 60.0$ – temp. wyjściowa

$T_{kw} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} = 8.0$ – temp. wejściowa

$V_w \cdot \text{dm}^{-3} = 1.3$ – pojemność zasobnika

$Q_{sol} \cdot (\text{kWh}/\text{rok})^{-1} = 11188.0$ – wymagany roczny zysk solarny

$E_k \cdot (\text{kWh}/\text{m}^2)^{-1} = 1244.88$ – energia promieniowania słonecznego na pow. horyzontalną

$n = 11.0$ – ilość kolektorów

$A_{ef} \cdot \text{m}^2 = 19.03$ – całkowita powierzchnia absorbera dla wszystkich kolektorów

$V_s \cdot \text{dm}^{-3} = 1500.0$ – objętość zasobnika

$V_G \cdot \text{dm}^{-3} = 90.0$ – pojemność znamionowa naczynia zbiorczego

$k_c \cdot \text{PLN}^{-1} = 30285.0$ – całkowity koszt instalacji

Literatura

- [1] Kaiser H.: *Wykorzystanie energii słonecznej Kraków*, Wydawnictwo AGH 1995
- [2] Korner W., Kirchhoff W., Schabbach T.: *Termiczne instalacje solarne. Doradztwo, Planowanie, Instalowanie*. Kassel. Handwerkskammer 1997
- [3] Kurowski K.: *Tyle słońca jest w Trójmieście*, Poradnik wykorzystania energii słonecznej do produkcji ciepła. Warszawa EC BREC/IBMER 2004
- [4] Wiśniewski G., Gołębiowski S., Gryciuk M.: *Kolektory słoneczne. Poradnik wykorzystania energii słonecznej* Warszawa. COIB 2001
- [5] Viessmann: *Energia słoneczna Systemy solarne broszury informacyjno – reklamowe firmy*, 1998-2006
- [6] www.vattenfall.pl/cena_pradu
- [7] Zawadzki M.: *Kolektory słoneczne, pompy ciepła - na tak*, Polska Ekologia, 2003