

## PRAKTYCZNE OBLICZENIA W INSTALACJACH SŁONECZNEGO OGRZEWANIA WODY

Zdzisław KUSTO

Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Katedra Elektroenergetyki  
tel: 58 347 23 54, 609-244-546, E-mail: [z.kusto@ely.pg.gda.pl](mailto:z.kusto@ely.pg.gda.pl), [zdzislaw.kusto@wp.pl](mailto:zdzislaw.kusto@wp.pl)

**Streszczenie:** Najbardziej efektywne pod względem technicznym i ekonomicznym jest słoneczne ogrzewanie wody użytkowej, do którego można już znaleźć obszary ekonomicznej opłacalności. W artykule skoncentrowano się na obliczeniach rocznego bilansu ciepła w instalacji słonecznego ogrzewania wody użytkowej. Do obliczeń wykorzystano charakterystyki sprawnościowe rzeczywiście istniejących kolektorów słonecznych. W opracowaniu opisano metodę postępowania przy wyborze typu kolektora najlepiej pasującego do zadanych warunków użytkowania oraz przedstawiono uzasadnienie proponowanej metody. Dodatkowo pokazano przykłady obliczeniowe.

**Słowa kluczowe:** Instalacja słoneczna. Ogrzewanie wody. Obliczenia praktyczne.

### 1. WSTĘP

W dotychczasowych sposobach wykorzystania energii słonecznego promieniowania najbardziej efektywne pod względem technicznym i ekonomicznym jest słoneczne ogrzewanie wody użytkowej, do którego można już znaleźć obszary ekonomicznej opłacalności.

W związku z powyższym w artykule skoncentrowano się na obliczeniach rocznego bilansu ciepła w instalacji słonecznego ogrzewania wody użytkowej. Do obliczeń wykorzystano charakterystyki sprawnościowe rzeczywiście istniejących kolektorów słonecznych, których typy, nazwy i producenci są znani autorowi<sup>1)</sup> [1]. W opracowaniu opisano metodę postępowania przy wyborze typu kolektora najlepiej pasującego do zadanych warunków użytkowania. Kolejne cztery typy kolektorów zidentyfikowano numeracją:

1. kolektor płaski starszego typu z selektywnym absorberem (tzw. „czarny chrom”),
2. nowoczesny kolektor płaski z selektywnym absorberem z roku 2006,
3. nowoczesny kolektor płaski z selektywnym absorberem z roku 2007,
4. kolektor próżniowy z selektywnym absorberem przystosowany do pracy w podwyższonej temperaturze.

### 2. SPRAWNOŚĆ KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

W instalacji słonecznego ogrzewania wody bateria kolektorów składa się z wymaganej liczby paneli (kilku, kilkunastu, ...) połączonych ze sobą najczęściej równolegle. Przetwarzanie energii promieniowania słonecznego na ciepło odbywa się ze sprawnością zależną od szeregu danych konstrukcyjnych każdego z pojedynczych paneli, jak też całej baterii kolektorów. Spośród tych danych do najważniejszych należą:

- jakość selektywności absorbera,
- wielkość podciśnienia panującego w przestrzeni pomiędzy przezroczystą osłoną kolektora (np.: szyba szklana) a absorberem (dla kolektorów próżniowych).

Sprawność kolektorów jest zależna od różnicy temperatury pomiędzy płytą absorbera a powietrzem atmosferycznym oraz mocy promieniowania słonecznego. Jest wystarczająco dokładnie opisana prostą zależnością wielomianową o następującej postaci:

Kolektor 1:

$$\eta_{kol} = 0,842 - (0,660 - 0,1050 \cdot \zeta) \cdot \zeta ,$$

Kolektor 2:

$$\eta_{kol} = 0,846 - (4,040 + 0,0080 \cdot (T_{in} - T_a)) \cdot \zeta , \quad (1)$$

Kolektor 3:

$$\eta_{kol} = 0,820 - (3,609 + 0,0036 \cdot (T_{in} - T_a)) \cdot \zeta ,$$

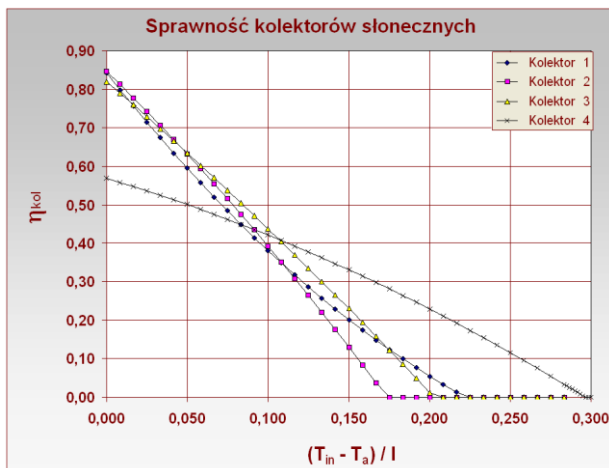
Kolektor 4:

$$\eta_{kol} = 0,568 - (1,240 + 0,0038 \cdot (T_{in} - T_a)) \cdot \zeta ,$$

$$\text{gdzie: } \zeta = \frac{T_m - T_a}{I} ,$$

- $T_{in}$  - temperatura absorbera u wlotu do kolektora,  $^{\circ}\text{C}$ ,  
 $T_a$  - temperatura powietrza atmosferycznego,  $^{\circ}\text{C}$ ,  
 $I$  - moc promieniowania słonecznego,  $\text{W/m}^2$ .

<sup>1)</sup> Kolektory słoneczne dostępne na polskim rynku.



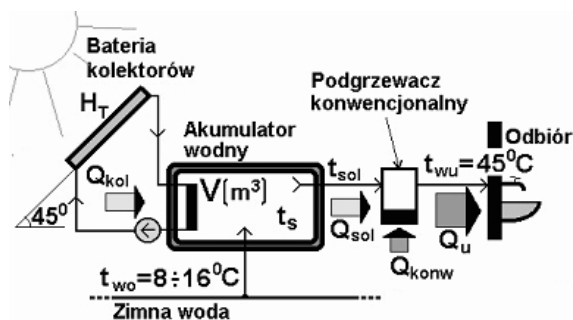
Rys. 1. Graficzna ilustracja zależności (1) opisujących sprawność kolektorów słonecznych

Na rys. 1 przedstawiona jest graficzna ilustracja zależności (1). Analizując przebieg zmienności funkcji można zauważyć, że jeśli użytkownik instalacji słonecznej chce akumulować ciepło w podwyższonej temperaturze<sup>2)</sup>, wówczas powinien zainstalować baterię kolektorów 4, jeśli gromadzone ciepło będzie w stosunkowo niskiej temperaturze, wówczas należy instalować kolektory 1, 2, 3.

Spostrzeżenie o rodzaju zastosowanego typu kolektora słonecznego ma także swoje przełożenie na bilans energetyczny instalacji słonecznej. Można to zaobserwować w niżej zamieszczonych wynikach obliczeń udziału energii słonecznej w pokryciu zapotrzebowania na ciepło

### 3. BILANS CIEPLNY INSTALACJI SŁONECZNEGO OGRZEWANIA WODY

Instalacja słoneczna musi współpracować z innym źródłem tworząc hybrydowe źródło ciepła. Najczęściej źródłem tym jest wodny kocioł olejowy, gazowy lub podgrzewacz wody – gazowy lub elektryczny. Wszystkie konwencjonalne nośniki energetyczne pozwalają łatwo regulować moc ciepłą konwencjonalnego podgrzewacza wody, co jest bardzo istotne we współpracy instalacją słoneczną, charakteryzującą się dużą zmiennością w podaży ciepła - odpowiednio do zmienności nasłonecznienia. Funkcjonalny schemat instalacji jest przedstawiony na rys. 2.



Rys. 2. Funkcjonalny schemat słonecznej hybrydowej instalacji ogrzewania wody użytkowej

W wyposażeniu hybrydowej instalacji ogrzewania są następujące podstawowe urządzenia:

- bateria płaskich kolektorów słonecznych o łącznej powierzchni użytkowej -  $F_k$ ,
- wodny zbiornik akumulacyjny o pojemności -  $V$ ,
- rurociągi, armatura, oprzyrządowanie i opomiarowanie instalacji słonecznej,
- konwencjonalny podgrzewacz wody (olejowy, elektryczny, gazowy), którego zadaniem jest podgrzać wodę do temperatury użytkowej -  $t_{wu}$ , gdy podgrzanie słoneczne jest niewystarczające ( $t_{sol} < t_{wu}$ ),
- instalacja uzupełniająca wodę w zbiorniku akumulacyjnym (zimna woda).

Bilans ciepła w przedziale rocznym wykonano z wykorzystaniem modelu symulacyjnego, przeprowadzając wielowariantowe studium parametryczne w wariantach zestawienia urządzeń instalacji ogrzewania. Każdemu wariantowi przyporządkowano jeden z wyżej wymienionych typów kolektorów słonecznych. W rezultacie obliczeń dla każdego wariantu wyznaczono funkcję opisującą **udział energii słonecznej w pokryciu** rocznego zapotrzebowania na ciepło w ciepłej wodzie użytkowej (dalej zwany w skrócie „udziałem”). Należy wyraźnie zaznaczyć, że sporządzony roczny bilans ciepła i wyznaczone funkcje udziałów odnoszą się do energii liczonej na poziomie użytkownika. Wykresy funkcji oraz zestawienia tabelaryczne przedstawiono na rys. 3 i w tabeli 1 [2,3,4].

Bilans energetyczny instalacji słonecznej obliczono dla małego odbiorcy (kilkusobowej rodziny) i na tej podstawie wyznaczono charakterystyki udziałów -  $u_{sol}$  - jako funkcje zmiennej uogólnionej -  $Q_f$  - opisanej zależnością (2) (opracowaną przez autora we wcześniejszych pracach)<sup>3)</sup>.

$$Q_f = \frac{40 \cdot F_k}{m_k \cdot L_{os}} = \frac{40 \cdot F_k}{M_k} \quad (2)$$

Pojedyncze czynniki zmiennej uogólnionej można łączyć ze sobą tworząc kolejne zespołowe zmienne parametryczne, które są często stosowane w praktyce:

1) dobowe zużycie ciepłej wody przez odbiorcę,  $dm^3/dobę$ :

$$M_k = m_k \cdot L_{os}, \quad (3)$$

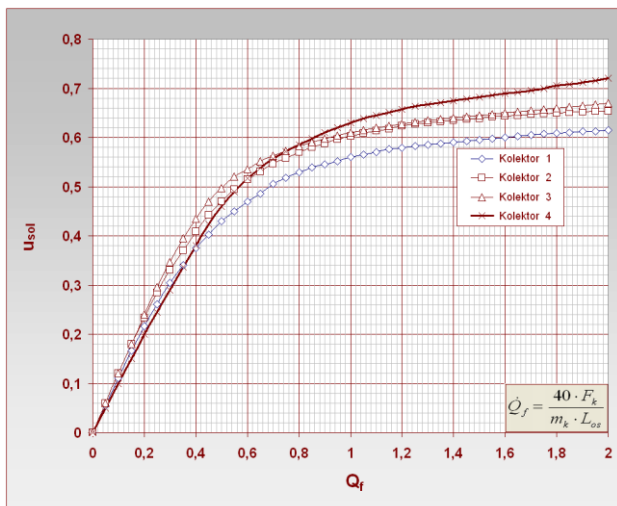
2) powierzchnia baterii kolektorów na jedną osobę,  $m^2/osobę$ :

$$f_k = \frac{F_k}{L_{os}}, \quad (4)$$

W wykonanych obliczeniach stwierdzono, że wyżej wartości udziałów -  $u_{sol}$  - są przede wszystkim zależne od zmiennej uogólnionej (2), z kolei wpływ objętości zbiornika akumulacyjnego na te zależności jest bardzo słaby - praktycznie pomijalnie mały pod warunkiem, że w zbiorniku tym jest co najmniej 200  $dm^3$  wody<sup>3)</sup>. Obliczenia wpływu pojemności zbiornika magazynującego ciepłą wodę wykonano dla wielu wariantów zapotrzebowania na ciepłą wodę i typów kolektorów słonecznych. Rezultaty wszystkich obliczeń były podobne. Przykładową ilustrację wyników tych obliczeń przedstawiono na rys. 4.

<sup>3)</sup> Prace własne autora wykonane w ramach badań własnych.

<sup>2)</sup> Ciepło jest magazynowane w wodnym zbiorniku akumulacyjnym. Woda nie może osiągnąć temperatury wrzenia. Zaleca się, aby temperatura wody w akumulatorze nie przekraczała 90 °C.



Rys. 3. Udział energii słonecznej w pokryciu rocznego zapotrzebowania na ciepło w ciepłej wodzie użytkowej – liczony na poziomie energii użytecznej - dla czterech wariantów baterii kolektorów słonecznych

Wykresy na rysunkach 3 i 4 pokazują przebiegi uśrednione. Odchylenia od wartości średnich wynoszą około  $\pm 5\%$ . Można je przyjąć za wstępną ocenę błędów zrealizowanej metody obliczeniowej szacowaną z dokładnością do przyjętych założeń: wartości nasłonecznienia, zewnętrznej temperatury otoczenia.

W obliczeniach orientacyjnych dla wstępnego rozeznania efektów energetycznych, które można uzyskać z instalacji słonecznej, przyjmuje się sprawność energetyczną tej instalacji i, przy znanej wartości nasłonecznienia, wyznacza się ilość pozyskanego efektywnie ciepła słonecznego w wodzie użytkowej. Przyjęcie założeń do takich orientacyjnych oszacowań wymaga uzasadnionej weryfikacji. W tym celu wykonano obliczenia na modelu symulacyjnym dla instalacji słonecznej z baterią kolektorów nr 1.

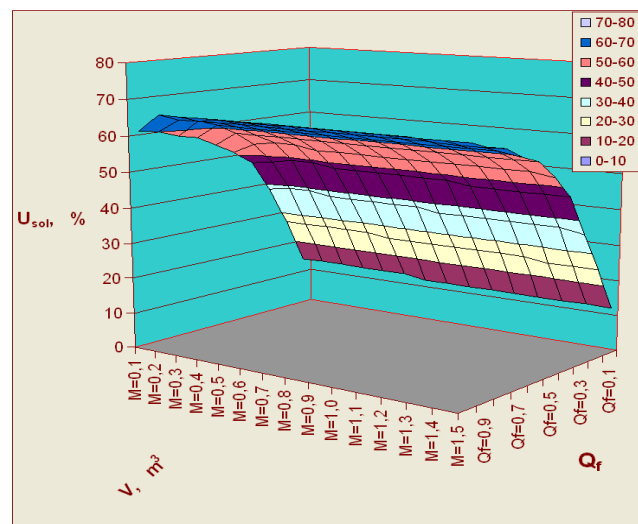
Wzrost udziału energii słonecznej w pokryciu zapotrzebowania na ciepło w ciepłej wodzie użytkowej powoduje spadek sprawności baterii kolektorów i całej instalacji słonecznej.

Wykres zmian średniej rocznej sprawności instalacji pokazano na rys. 5

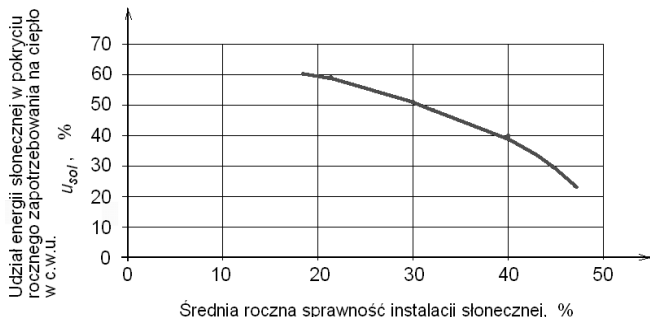
Tabela 1. Udział energii słonecznej w pokryciu rocznego zapotrzebowania na ciepło w ciepłej wodzie użytkowej – liczony na poziomie energii użytecznej - dla czterech wariantów baterii kolektorów słonecznych

$Q_f$	Kolektor 1	Kolektor 2	Kolektor 3	Kolektor 4
0	0	0	0	0
0,05	0,055	0,06	0,06	0,05
0,1	0,11	0,12	0,12	0,1
0,15	0,167	0,18	0,18	0,15
0,2	0,216	0,234	0,24	0,2
0,25	0,261	0,285	0,296	0,245
0,3	0,304	0,331	0,346	0,29
0,35	0,34	0,37	0,395	0,337
0,4	0,375	0,409	0,435	0,38
0,45	0,403	0,442	0,469	0,423

0,5	0,43	0,47	0,497	0,46
0,55	0,45	0,495	0,52	0,49
0,6	0,47	0,514	0,536	0,517
0,65	0,486	0,531	0,552	0,538
0,7	0,505	0,546	0,563	0,557
0,75	0,518	0,558	0,573	0,572
0,8	0,529	0,57	0,582	0,585
0,85	0,539	0,58	0,59	0,598
0,9	0,545	0,588	0,598	0,61
0,95	0,552	0,596	0,604	0,62
1	0,56	0,602	0,61	0,63
1,05	0,565	0,6085	0,615	0,638
1,1	0,57	0,614	0,62	0,645
1,15	0,576	0,618	0,624	0,651
1,2	0,579	0,623	0,627	0,657
1,25	0,582	0,627	0,631	0,663
1,3	0,585	0,63	0,6345	0,667
1,35	0,5875	0,6325	0,6371	0,671
1,4	0,59	0,635	0,64	0,675
1,45	0,5925	0,637	0,6425	0,678
1,5	0,595	0,639	0,645	0,682
1,55	0,5975	0,642	0,6475	0,6857
1,6	0,6	0,643	0,65	0,69
1,65	0,6025	0,645	0,6525	0,6925
1,7	0,605	0,647	0,655	0,696
1,75	0,607	0,648	0,6575	0,7
1,8	0,609	0,6495	0,66	0,705
1,85	0,6105	0,6508	0,6625	0,708
1,9	0,612	0,6523	0,665	0,712
1,95	0,613	0,653	0,6675	0,716
2	0,615	0,654	0,67	0,72



Rys. 4. Przykładowa ilustracja wpływu pojemności zbiornika akumulacyjnego na udział energii słonecznej w pokryciu rocznego zapotrzebowania na ciepło w ciepłej wodzie użytkowej



Rys. 5. Średnia roczna sprawność instalacji słonecznego ogrzewania wody użytkowej

#### 4. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE

##### Przykład 1

Każda z osób dziesięcioosobowego odbiorcy zużywa w ciągu doby 80 litrów ciepłej wody (założona wartość średnia roczna). Jaka powinna być powierzchnia baterii kolektorów w hybrydowej instalacji słonecznego ogrzewania wody, aby w ciągu roku pozyskać użytecznie co najmniej 50% ciepła z energii słonecznej?

##### Rozwiązanie

Dane:

$L_{os} = 10$ ,  $m_k = 80 \text{ dm}^3$  przez jedną osobę w ciągu doby

W pierwszej wersji rozwiązania założymy, że będą instalowane kolektory nr 2. Każdy panel kolektorowy ma powierzchnię czynną  $F_{k1} = 2 \text{ m}^2$ .

Pojemność wodnego zbiornika akumulacyjnego nie ma wpływu na wielkość rocznego udziału energii słonecznej (patrz wyżej), wobec tego w obliczeniach w przykładzie nie będzie uwzględniana, pod warunkiem, że jest większa od 200 litrów. Projektant dobiera pojemność zbiornika wygodną dla użytkownika.

Do obliczenia wykorzystujemy zależność (2) oraz wykres dla kolektora 2 - z rys. 3 lub dane liczbowe z tabeli 1.

Dobowe zużycie ciepłej wody przez odbiorcę jest równe:

$$M_k = m_k \cdot L_{os} = 80 \cdot 10 = 800 \text{ dm}^3 = 800 \text{ kg}.$$

Z wykresu znajdujemy:

$$u_{sol} \geq 0,5 \Rightarrow Q_f = \frac{40 \cdot F_k}{M_k} = \frac{40 \cdot F_k}{800} \geq \sim 0,57.$$

$$\text{Stąd: } F_k \geq \frac{0,57 \cdot 800}{40} = 11,4 \text{ m}^2.$$

Liczba paneli kolektorów:

$$n_{pan} \geq \frac{F_k}{F_{k1}} = \frac{11,4}{2} = 5,7 \Rightarrow n_{pan} = 6.$$

Rzeczywista czynna powierzchnia baterii kolektorów:

$$F_k = n_{pan} \cdot F_{k1} = 6 \cdot 2 = 12 \text{ m}^2,$$

Rzeczywista wartość udziału energii słonecznej w pokryciu rocznego zapotrzebowania na ciepło w ciepłej wodzie użytkowej:

$$Q_f = \frac{40 \cdot F_k}{M_k} = \frac{40 \cdot 12}{800} = 0,6 \Rightarrow u_{sol} = 0,514.$$

W drugiej wersji rozwiązania założymy, że będą instalowane kolektory nr 3. Każdy panel kolektorowy ma powierzchnię czynną  $F_{k1} = 1,9 \text{ m}^2$ .

Z wykresu odczytujemy:

$$u_{sol} \geq 0,5 \Rightarrow Q_f = \frac{40 \cdot F_k}{M_k} = \frac{40 \cdot F_k}{800} \geq \sim 0,52.$$

$$\text{Stąd: } F_k \geq \frac{0,52 \cdot 800}{40} = 10,4 \text{ m}^2.$$

Liczba paneli kolektorów:

$$n_{pan} \geq \frac{F_k}{F_{k1}} = \frac{10,4}{1,9} = 5,47 \Rightarrow n_{pan} = 6.$$

Rzeczywista czynna powierzchnia baterii kolektorów:

$$F_k = n_{pan} \cdot F_{k1} = 6 \cdot 1,9 = 11,4 \text{ m}^2.$$

Rzeczywista wartość udziału energii słonecznej w pokryciu rocznego zapotrzebowania na ciepło w ciepłej wodzie użytkowej:

$$Q_f = \frac{40 \cdot F_k}{M_k} = \frac{40 \cdot 11,4}{800} = 0,57 \Rightarrow u_{sol} = 0,53.$$

W trzeciej wersji rozwiązania założymy, że będą instalowane kolektory nr 4. Każdy panel kolektorowy ma powierzchnię czynną  $F_{k1} = 2,5 \text{ m}^2$ .

Z wykresu odczytujemy:

$$u_{sol} \geq 0,5 \Rightarrow Q_f = \frac{40 \cdot F_k}{M_k} = \frac{40 \cdot F_k}{800} \geq \sim 0,57.$$

$$\text{Stąd: } F_k \geq \frac{0,57 \cdot 800}{40} = 11,4 \text{ m}^2.$$

Liczba paneli kolektorów:

$$n_{pan} \geq \frac{F_k}{F_{k1}} = \frac{11,4}{2,5} = 4,56 \Rightarrow n_{pan} = 5.$$

Rzeczywista czynna powierzchnia baterii kolektorów:

$$F_k = n_{pan} \cdot F_{k1} = 5 \cdot 2,5 = 12,5 \text{ m}^2.$$

Rzeczywista wartość udziału energii słonecznej w pokryciu rocznego zapotrzebowania na ciepło w ciepłej wodzie użytkowej:

$$Q_f = \frac{40 \cdot F_k}{M_k} = \frac{40 \cdot 12,5}{800} = 0,625 \Rightarrow u_{sol} = \sim 0,53.$$

## Przykład 2

Obliczyć powierzchnię baterii kolektorów jak w Przykładzie 1 dla następujących przypadków:

- każda osoba zużywa w ciągu doby średnio 120 litrów ciepłej wody, w ciągu roku należy pozyskać użytecznie co najmniej 50% ciepła z energii słonecznej,
- każda osoba zużywa w ciągu doby średnio 40 litrów ciepłej wody, w ciągu roku należy pozyskać użytecznie co najmniej 50% ciepła z energii słonecznej,
- każda osoba zużywa w ciągu doby średnio 80 litrów ciepłej wody, w ciągu roku należy pozyskać użytecznie co najmniej 60% ciepła z energii słonecznej.

## Rozwiązanie

Wykonanie obliczeń jest identyczne, jak w Przykładzie 1. Wyniki obliczeń dla trzech przypadków zapisane są poniżej w zestawieniu tabelarycznym.

	Przypadek 1 $u_{sol} \geq 0,5$ $m_k = 120 \text{ dm}^3$	Przypadek 2 $u_{sol} \geq 0,5$ $m_k = 40 \text{ dm}^3$	Przypadek 3 $u_{sol} \geq 0,6$ $m_k = 80 \text{ dm}^3$
Kolektory nr 2	$F_k = 18 \text{ m}^2$ $u_{sol} = 0,514$	$F_k = 6 \text{ m}^2$ $u_{sol} = 0,514$	$F_k = 20 \text{ m}^2$ $u_{sol} = 0,610$
Kolektory nr 3	$F_k = 17,1 \text{ m}^2$ $u_{sol} = 0,53$	$F_k = 5,7 \text{ m}^2$ $u_{sol} = 0,53$	$F_k = 19 \text{ m}^2$ $u_{sol} = 0,604$
Kolektory nr 4	$F_k = 17,5 \text{ m}^2$ $u_{sol} = 0,50$	$F_k = 7,5 \text{ m}^2$ $u_{sol} = 0,573$	$F_k = 17,5 \text{ m}^2$ $u_{sol} = 0,60$

## Przykład 3

Każda osoba u czteroosobowego odbiorcy zużywa w ciągu doby średnio 60 litrów ciepłej wody o obliczeniowej temperaturze równej  $t_{wu} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ . Zimna woda uzupełniająca, pobierana z ujęcia głębinowego, ma temperaturę równą  $t_{wo} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Źródłem ciepła jest instalacja hybrydowa, w której pracują:

- instalacja słoneczna, w której bateria kolektorów złożona jest z trzech paneli pierwszego typu, każdy o powierzchni czynnej równej  $F_{kl} = 1,7 \text{ m}^2$ ,
- elektryczny podgrzewacz wody o sprawności  $\eta_e = 0,99$ .

Należy obliczyć:

- ilość ciepła na poziomie użytecznym uzyskaną w ciągu roku z instalacji słonecznej,
- ilość ciepła na poziomie użytecznym uzyskaną w ciągu roku z podgrzewacza elektrycznego,
- roczne zużycie energii elektrycznej na podgrzewanie wody.

## Rozwiązanie

Roczne zapotrzebowanie na ciepło w ciepłej wodzie użytkowej można wyznaczyć według zależności:

$$Q_{zap} = 1529,35 \cdot m_k \cdot L_{os} \cdot (t_{wu} - t_{wo}) \cdot 10^{-6}, \quad [\text{GJ/a}] \quad (5)$$

<sup>4)</sup> W sporządzeniu bilansu kalorymetrycznego zakłada się, że zużycie wody jest jednakowe we wszystkich dniach roku. Liczba 1529,35 jest iloczynem liczby dni w roku – 365 – i ciepła właściwego wody – 4,19 kJ/(kg·K)

$$Q_{zap} = 1529,35 \cdot 60 \cdot 4 \cdot (45 - 10) \cdot 10^{-6} = 12,85 \text{ GJ/a.}$$

$$M_k = m_k \cdot L_{os} = 60 \cdot 4 = 240 \text{ dm}^3/\text{dobę}$$

Powierzchnia baterii kolektorów:

$$F_k = n_{pan} \cdot F_{kl} = 3 \cdot 1,7 = 5,1 \text{ m}^2.$$

Dla kolektorów nr 1:

$$Q_f = \frac{40 \cdot F_k}{M_k} = \frac{40 \cdot 5,1}{240} = \sim 0,85 \Rightarrow u_{sol} \geq \sim 0,537.$$

Ilość uzyskanego ciepła użytecznego z energii słonecznej:

$$Q_{sol} = Q_{zap} \cdot u_{sol} = 0,537 \cdot 12,85 = 6,90 \text{ GJ/a.}$$

Pozostałą ilość ciepła użytecznego trzeba uzyskać z energii elektrycznej:

$$Q_{konw} = Q_{zap} \cdot (1 - u_{sol}) = (1 - 0,537) \cdot 12,85 = 0,463 \cdot 12,85 = 5,95 \text{ GJ/a.}$$

Ciepło użyteczne jest pozyskane ze sprawnością równą  $\eta_e = 0,99$ .

Zużycie energii elektrycznej obliczone na poziomie energii finalnej (na liczniku u odbiorcy) jest równe:

$$E_{el} = \frac{Q_{konw}}{\eta_e} = \frac{5,95}{0,99} = 6,01 \frac{\text{GJ}}{\text{a}},$$

po przeliczeniu jednostek z GJ na kW·h:

$$E_{el} = 6,01 \frac{\text{GJ}}{\text{a}} \cdot \left( \frac{10^6 \text{ k}}{\text{G}} \cdot \frac{\text{W} \cdot \text{s}}{\text{J}} \cdot \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} \right) = \sim 1670 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{a}}.$$

## 5. Dyskusja wyników obliczeń

Temperatura wody w zbiorniku magazynującym, spełniającym rolę zbiornika wyrównawczego (por. rys. 2), oznaczona symbolem  $t_s \equiv t_{sol}$ , może być niższa od wymaganej temperatury użytecznej (równej  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Wówczas woda musi być podgrzana konwencjonalnie. Należy jednak pamiętać o tym, że płyn w obiegu pierwotnym (bateria kolektorów słonecznych + wymiennik ciepła w zbiorniku akumulacyjnym) musi mieć temperaturę wyższą od temperatury  $t_s$ , bo tylko wtedy jest możliwe przekazywanie ciepła z baterii kolektorów do akumulatora.

Praca w podwyższonym zakresie temperatury wody wymaga zwiększenia powierzchni baterii kolektorów, które są przystosowane do takiej pracy. Muszą one mieć odpowiednio wysoką sprawność. Do tego przypadku najbardziej przystosowany jest kolektor nr 4 – selektywny, z obniżonym ciśnieniem gazu zawartego w przestrzeni pomiędzy absorberem a przezroczystą pokrywą szklaną (kolektor zaliczany do tzw. kolektorów próżniowych).

Nie można jednak dawać zbyt dużej powierzchni baterii kolektorów ze względu na możliwość doprowadzenia wody do stanu wrzenia w okresie letnim, gdy są duże wartości nasłonecznienia.

W artykule opisano charakterystyki udziałów, które są odniesione do przedziału czasowego jednego roku (por. rys.

3 i 4), który musi być rokiem reprezentatywnym dla zadanej lokalizacji<sup>5)</sup> [5].

Podobne funkcje udziałów można opracować dla przedziałów miesięcznych lub sezonowych – dla baterii wykonanych z różnych typów kolektorów słonecznych<sup>6)</sup>. Obliczenia miesięcznych bilansów ciepła wykonuje się identycznie, jak pokazano w przykładach obliczeniowych. Dają one bardziej dokładny pogląd na możliwość poprawy rocznego bilansu ciepła w instalacji ogrzewania oraz uniknięcia zbyt wysokich wartości temperatury podgrzewanej wody.

Wykorzystane w artykule sprawnościowe charakterystyki kolektorów są charakterystykami kolektorów aktualnie istniejących na polskim rynku. Uzyskane w obliczeniach ich charakterystyki eksploatacyjne (charakterystyki udziałów) nie powinny być wykorzystywane do promowania lub dyskwalifikowania któregoś z wymienionych kolektorów. Dobór typu kolektora jest zależny od lokalnych warunków klimatycznych (głównie: nasłonecznienia i temperatury powietrza) oraz warunków eksploatacyjnych (wymagana przez użytkownika temperatura wody użytkowej, temperatura wody uzupełniającej, zużycie ciepłej wody, itp.)

Wybór i dopasowanie urządzeń do projektowanej instalacji słonecznej wymaga przeprowadzenia dokładnego i wielostronnego studium parametrycznego, w którym ocena bilansu energetycznego jest podstawową a kryteriami wyboru są kryterium użyteczności i kryterium ekonomiczne. Które kryterium zostanie przyjęte jako podstawowe powinien zdecydować przyszły użytkownik.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. Informacje ze stron internetowych i katalogi firmowe z lat 2005-2007<sup>7)</sup>
2. Kusto Z.: Techniczna i ekonomiczna weryfikacja efektywności słonecznego ogrzewania wody użytkowej. VIII Ogólnopolskie Forum Odnawialnych Źródeł Energii. Konferencja Naukowo-Techniczna. Międzybrodzie Żywieckie, 15 – 17 maja 2002
3. Kusto Z.: Konkurencyjność słonecznego ogrzewania wody użytkowej. Międzynarodowa Konferencja „Odnawialne źródła energii u progu XXI wieku”. Europejskie Centrum Odnawialnych Źródeł Energii EC BREC. Warszawa, 10 – 11 grudnia 2001
4. Kusto Z.: Prace w trakcie realizacji w ramach prac własnych. Nie publikowane. Politechnika Gdańska, Katedra Elektroenergetyki. 2006 – 2007.
5. Kusto Z.: Charakterystyczne cechy promieniowania słonecznego w Polsce. Modele nasłonecznienia jednostkowych powierzchni nachylonych. Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk, Nr rej. 47/80. Gdańsk

<sup>5)</sup> Opisane charakterystyki udziałów odnoszą się do warunków nasłonecznienia na Wybrzeżu Gdańskim.

<sup>6)</sup> Takie charakterystyki miesięcznych udziałów dla kolektora nr 1 i dla nasłonecznienia na Wybrzeżu Gdańskim są wykonane przez autora.

<sup>7)</sup> Adresy znane autorowi. Do udostępnienia na indywidualne życzenie.

## Wykaz oznaczeń

$E_{el}$	- roczne zużycie energii elektrycznej na ogrzewanie wody użytkowej, kWh/a
$F_k$	- powierzchnia baterii kolektorów słonecznych, m <sup>2</sup>
$F_{kl}$	- powierzchnia pojedynczego panelu kolektora słonecznego, m <sup>2</sup>
$H_T$	- nasłonecznienie płaszczyzny nachylonej do poziomu, kJ/m <sup>2</sup>
$I$	- moc promieniowania słonecznego, kW/m <sup>2</sup>
$L_{os}$	- liczba osób użytkownika
$M_k$	- dobowe zużycie ciepłej wody przez odbiorcę - wartość średnia roczna, kg/dobę (dm <sup>3</sup> /dobę)
$m_k$	- dobowe zużycie ciepłej wody przez jedną osobę - wartość średnia roczna, kg/dobę (dm <sup>3</sup> /dobę)
$n_{pan}$	- liczba paneli w baterii kolektorów słonecznych
$Q_f$	- zmienna uogólniona (opis w tekście opracowania)
$Q_{kol}$	- ilość ciepła wyprowadzona bezpośrednio z baterii kolektorów słonecznych, MJ, (GJ)
$Q_{konw}$	- ilość ciepła w ciepłej wodzie użytkowej, mierzona na poziomie energii użytecznej, uzyskana z konwencjonalnego źródła ciepła, MJ, (GJ)
$Q_{sol}$	- ilość ciepła w ciepłej wodzie użytkowej, mierzona na poziomie energii użytecznej, uzyskana z instalacji słonecznej, MJ, (GJ)
$Q_u$	- ilość ciepła w ciepłej wodzie użytkowej, mierzona na poziomie energii użytecznej, użytecznie dostarczona dla odbiorcy, MJ, (GJ)
$T_a$	- temperatura powietrza atmosferycznego, °C
$T_{in}$	- temperatura absorbera i jednocześnie temperatura płynu obiegu pierwotnego u wlotu do baterii kolektorów słonecznych, °C
$t_s$	- temperatura wody w zbiorniku magazynującym (akumulacyjnym), °C
$t_{sol}$	- temperatura wody pobieranej przez użytkownika bezpośrednio ze zbiornika akumulacyjnego (po podgrzaniu przez instalację słoneczną), °C
$t_{wo}$	- temperatura zimnej wody uzupełniającej, °C
$t_{wu}$	- temperatura wody użytkowej, °C
$u_{sol}$	- udział energii słonecznej w pokryciu zapotrzebowania na ciepło w ciepłej wodzie użytkowej, mierzony na poziomie energii użytecznej
$V$	- pojemność zbiornika akumulacyjnego, dm <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )
$\eta_e$	- sprawność elektrycznego układu podgrzewania wody
$\eta_{kol}$	- sprawność baterii kolektorów słonecznych

## PRACTICAL CALCULATION OF SOLAR WATER HEATING

**Key-words:** Solar installations, water heating, practical calculations

The technical and economic effective solar low temperature water heating is the best of every possibilities of solar energy conversion. The simple method of annual solar heat balance calculation is the aim of the paper, where the basis of that balance is the efficiency characteristic of solar collectors. That method and several examples of calculation are described in the paper.

