

RESULTS OF OPERATIONAL RESEARCH AND FUNCTIONAL SOLAR SYSTEM IN THE HOUSEHOLD

Summary

The paper presents the design aspects, performance and test results of the liquid manifold vacuum, which can in a very practical way be useful for prospective investors wishing to eliminate a traditional way of obtaining domestic hot water in the household.

Key words: solar installation; liquid collector; household; water; heating; experimentation

WYNIKI BADAŃ EKSPLOATACYJNYCH I FUNKCJONALNYCH INSTALACJI SOLARNEJ W GOSPODARSTWIE DOMOWYM

Streszczenie

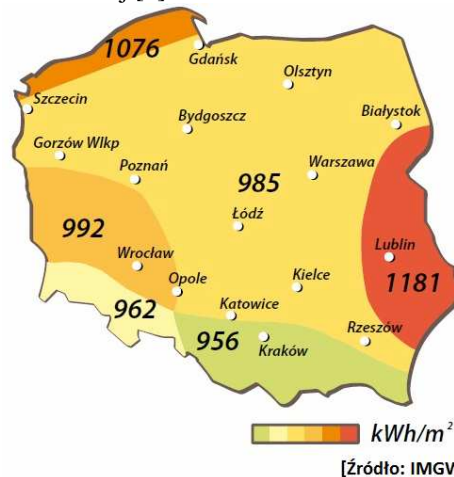
W artykule przedstawiono aspekty konstrukcyjne, eksploatacyjne oraz wyniki badań cieczowego kolektora próżniowego, mogące w bardzo praktyczny sposób okazać się przydatnymi dla przyszłych inwestorów chcących wyeliminować w gospodarstwie domowym tradycyjny sposób uzyskiwania ciepłej wody użytkowej.

Słowa kluczowe: instalacja solarna; kolektor cieczowy; gospodarstwo domowe; woda; ogrzewanie; badania

1. Wstęp

Obecnie eksploatowane paliwa kopalne pokrywają około 88% światowego całkowitego zapotrzebowania na energię. Według prognoz Unii Europejskiej na rok 2000, udział odnawialnych źródeł energii miał nie ulegać wyraźnemu zwiększeniu i pozostawać na poziomie ok. 6% energii pierwotnej (z czego energia wiatru stanowiła 1%, słoneczna 2%, z biomasy 3%). Prognozy na 2005 r. dotyczyły już 10%, a 2010 r. 15% tego udziału. W Polsce pierwsze miejsce w zużyciu i strukturze zużycia energii zajmuje węgiel kamienny, co stanowi ponad 50% udziału w porównaniu z 15% w krajach UE, gdzie z kolei podstawowe źródło stanowi ropa naftowa – ok. 42% [1]. Ponadto stan zniszczenia środowiska wskazuje nie tylko na konieczność nie zwiększania już produkcji energii w dotychczasowy sposób, lecz wręcz jego zmniejszenie. W związku z tym należałoby w to miejsce pozyskać nowe źródła energii i sposoby jej wytwarzania przyjazne środowisku. Coraz intensywniej dąży się do ograniczenia zużycia energii w procesach, w których można zastosować urządzenia i systemy energooszczędne oraz wykorzystujące energię ze źródeł odnawialnych. Główne zastosowania energii słonecznej (podgrzewanie wody do celów domowych, duże zbiorcze instalacje grzewcze w szpitalach, hotelach, fabrykach itp., ogrzewanie pomieszczeń, ogrzewanie osiedlowe, ogrzewanie basenów, klimatyzacja i uzyskiwanie ciepła dla celów przemysłowych). Technologia przetwarzania energii promieniowania słońca w użyteczne ciepło, to przyszłość wykorzystania energii słonecznej do celów grzewczych w Europie [3]. Badania Sonnenberga i Graefa [4] wykazały, że energia słoneczna może dostarczać w północnej Europie $0,8 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ w ciągu 1250 h/rok. Podobne rezultaty uzyskano w prowadzonych w IBMER badaniach „Ekodachu” będącego cieczowym kolektorem słonecznym [2, 5]. Wykazano, iż możliwe jest uzyskanie mocy na poziomie $670 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Inne badania wykazały, że średnie nasłonecznienie w Polsce wy-

nosi $950\text{-}1200 \text{ kWh} / \text{rok m}^2$. Natężenie nasłonecznienia danego miejsca zależy od wielu czynników, m.in. od szerokości geograficznej i topografii terenu, usytuowania powierzchni kolektora słonecznego względem stron świata oraz kąta pochylenia powierzchni absorbującej w stosunku do powierzchni ziemi. Najczęściej notowane natężenie nasłonecznienia dla Polski (rys. 1) zawiera się między 600 a $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Fachowa literatura podaje, że wykorzystując kolektory słoneczne można uzyskać do 60% ciepłej wody z energii słonecznej [5].



[Źródło: IMGW]

Rys. 1. Rozkład średniego nasłonecznienia w Polsce w $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ (Źródło: NIBE BRAWAR; IMGW)

Fig. 1. Secondary distribution of insolation in Poland in $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$. (Source: NIBE BRAWAR; IMGW)

2. Przedmiot badań

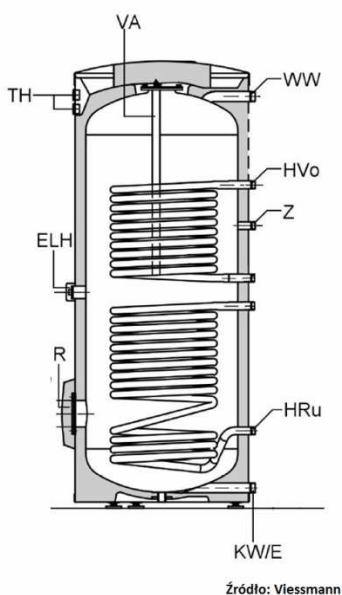
Przedmiotem badań była instalacja grzewcza składająca się z cieczowego, próżniowego kolektora słonecznego (rys. 2), kotła CO, wymiennika ciepła (rys. 3), oraz dodatkowej instalacji kontrolno-pomiarowej, grzejników. Przeprowadzone badania miały na celu zweryfikować poprawność

i niezawodność systemu oraz jest skuteczność w odmiennych warunkach atmosferycznych.



Foto: Grasant

Rys. 2. Cieczowy kolektor słoneczny. (Źródło: Grasant)
Fig. 2. Liquid solar collector. (Source: Grasant)



Źródło: Viessmann

Rys. 3. Schemat wymiennika ciepła; E – Spust, ELH – króciec grzałki elektrycznej, HVo – zasilanie wodą grzewczą, KW – zimna woda, R – otwór rewizyjny i wyczystkowy z pokrywą kołnierkową, TH – termometr, VA – magnezowa anoda ochronna, WW – ciepła woda użytkowa, Z – cyrkulacja, HRu – odprowadzenie wody grzewczej
Fig. 3. Schematic of the heat exchanger, E - drain, ELH - socket electric heater, HVo - heating water flow, KW - cold water, R - inspection and cleaning of the cover flange, TH - thermometer, VA - protective magnesium anode, WW - hot water, Z - circulation, HRu - heating water drainage

3. Stanowisko badawcze i metodyka badawcza

Badania prowadzono w okresie od września do listopada 2010 r. i od maja 2011 do lutego 2012 r. W skład stanowiska badawczego wchodziły następujące urządzenia:

- cieczowy, próżniowy kolektor słoneczny SOLARIS 16 SLU 1500/16,
- wymiennik ciepła z dwiema węzownicami Vitocell 100-B,
- kocioł CO o mocy 6 kW, zasilany drewnem i węglem kamiennym,
- regulator solarny (rys. 4),

- grupa pompowa,
- urządzenia kontrolno-pomiarowe, czujniki temperatury i ciśnienia,
- inne urządzenia instalacyjne (naczynie przeponowe 8 dm³, odpowietrznik solarny).

Tab. 1. Dane techniczne badanego kolektora słonecznego SOLARIS (Źródło: NIBE Biawar)

Tab. 1. Technical data of the solar collector SOLARIS (Source: NIBE Biawar)

Parametr	Jedn. miary	Wartość
Model kolektora		Solaris SLU 1500/16
Ilość rur		16
Długość pojedynczej rury	mm	1500
Powierzchnia czynna absorbera	m ²	1,45
Wymiary AxBxC	mm	1670x980 (1036 z króćcami)x140
Masa bez czynnika roboczego	kg	50
Rurka U połączeniowa	mm	miedziana, średnica 8mm
Reflektor		Płaska płyta rozpraszająca aluminiowa
Roczna sprawność cieplna	kWh/m ²	525
Króćce	cala	1/2
Budowa rury		Typ QB-Al.-N-/Al.-37/47-1500-1
Konfiguracja		Dwie rury szklane współśrodkowe
Materiał		Szkló borosilikatowe
Średnica zewnętrzna rury	mm	47
Średnica rury wewnętrznej	mm	37
Powierzchnia absorpcyjna		Stopniowa selektywna Al.-N/Al
Współczynnik absorpcji rury zewnętrznej		91 %
Współczynnik emisji (przy temo. 80°C)		8 %
Temperatura stagnacji	°C	>200
Współczynnik przenikalności cieplnej	W/m ² °C	<0,85
Wytrzymałość na uderzenie	mm	grad o średnicy 25 mm
Wytrzymałość ciśnieniowa	MPa	0,8



Foto: Grasant; R.Szulc

Rys. 4. Sterownik instalacji solarnej ze wskazaniem najważniejszych danych

Fig. 4. Solar controller with indication of critical data

Kolektor SOLARIS SLU 1500/16 zbudowany jest z 16 dwuciennych próżniowych rur szklanych, wewnątrz których znajdują się rurki miedziane w kształcie litery "U" (rozwiązanie typu "U-rurka"), w których krąży odbierający ciepło glikol. Rury wykonane są z hartowanego szkła borosilikatowego, odpornego na zmienne warunki klimatyczne

i gradobicie. Dzięki dodatkowej ściance refleksyjnej umieszczonej za rurami kolektora, są one doświetlone także z kierunku przeciwnego do padania promieni słonecznych - pozyskują energię również z promieniowania rozproszonego. Budowa rurowa kolektorów sprawia, że padające promienie słoneczne zawsze obejmują tę samą powierzchnię, niezależnie od usytuowania Słońca. Próżnia pomiędzy ściankami gwarantuje dobrą izolację w każdych warunkach pogodowych, dlatego też zakłada się, że dzięki temu kolektory umożliwiają uzysk energii również w okresie zimowym, co oznacza, że kolektor przystosowany jest do pracy całorocznej. Ścianka wewnętrzna pokryta jest powłoką o bardzo wysokiej absorpcji i niskiej emisji promieniowania. Zaletą kolektora jest to, że może on pracować w sytuacji mechanicznego uszkodzenia próżniowej rurki. Ciśnienie pracy wynosi 0,6 MPa.

Na rys. 3 przedstawiono schemat wymiennika ciepła Vitocell 100-B, posiadający w płaszczu dwa niezależne moduły grzewcze mogące być zasilane ciepłem z dwóch niezależnych źródeł lub z jednego źródła po połączeniu wcześniejszym dwóch węzłownic. Pojemność zbiornika wynosiła 300dm³, a powierzchnia grzewcza 0,9 m² (węzłownica górna) oraz 1,5 m² (węzłownica dolna).

Ogrzewanym budynkiem był wolnostojący budynek mieszkalny o łącznej powierzchni grzewczej ok. 54m². Poddany badaniom cieczowy kolektor słoneczny zamocowany został na dachu nachylnym względem powierzchni ziemi pod kątem ok. 15°. Powierzchnia czynna kolektora zwrócona jest w kierunku południowym, z nieznacznym, wynoszącym ok. 11,5-12° odchyleniu w kierunku wschodnim.

Regulator solarny, posiadający dokładne czujniki temperatur, umożliwiał m.in. obliczanie mocy chwilowej i całkowitego uzysku ciepła, poza tym posiada możliwość ustawienia w ekranie głównym wykresu pokazującego uzysk energii z ostatnich 14 dni, oraz wartości temperatur poszczególnych czujników.

Grupa pompowa jest urządzeniem wprawiającym w ruch czynnik grzewczy z pompą obiegowa Grundfos UPS 25-60. Posiada zawór kulowy, odcinający z zaworem, Manometr z zaworem montażowym, rotometr, regulację przepływu, separator powietrza, odpowietrznik z ręcznym zaworkiem przeciwgrawitacyjnym i termometrem, zawór bezpieczeństwa.

Zasada działania instalacji była następująca: promieniowanie słoneczne podgrzewając powierzchnię kolektora zwiększała temperaturę T₁. W momencie, gdy różnica temperatur T₁ i T₂ (temperatury wody w wymienniku) osiągnęła wartość $\Delta T = 10K$ sterownik (rys. 4) uruchamiał pompę obiegową instalacji solarnej, a krążący w instalacji nagrzany glikol oddawał ciepło w wymienniku jednocześnie chłodząc kolektor. Następnym cyklem pracy „zrzutu” ciepła następował po kolejnym nagrzaniu powierzchni kolektora i osiągnięciu temperatury T₁ wartości większej niż T₂ o wartość ΔT .

4. Wyniki badań

W tab. 2 przedstawiono fragment zabranych wyników w czasie prowadzenia badań, między innymi ilość pozyskanej energii każdego dnia oraz wartości temperatur T₁, T₂, T₃. Odczyt wyników nie był możliwy z bezpośrednim użyciem komputera, zatem wszystkie dane, były zbierane na bieżąco i spisywane ręcznie, a następnie wprowadzane

do komputera i przy pomocy programu Excel 2010 poddane analizie. Odczyt wyników pomiarów (m.in. temperatura wody wejściowej, temperatura wody wyjściowej z wymiennika, ilość ciepła pozyskana w wyniku pracy wymiennika) odbywało się codziennie.

Tab. 2. Wyniki badań instalacji solarnej

(Źródło: Opracowanie własne)

Tab. 2. Part of the results of the solar system

(Source: own study)

Dzień / Tydzień	Pozyskana energia z kolektora słonecznego [kWh·dzień ⁻¹]	Temperatura [°C]			
		T ₁	T ₂	T ₃	T _{zewn}
1	1,8	52,5	32,8	42,5	24
2	1,5	44,1	29,8	41,9	23
3	2	47,4	31,5	42,8	23
4	2,4	55	30,9	44,9	25
5	2,4	45,2	32,1	45,1	24
6	1,9	42,5	31	44,2	20
7	2,6	49,8	33	46	23
8	2,5	50,7	32,1	45,5	22
9	2,6	43,8	33,1	46,8	23
10	2,1	42,9	29,9	46,1	20
11	1,8	40,5	30	45,8	21
12	2,9	52,2	34,1	47,1	25
13	2,8	46,9	32,8	47	22
14	2,5	51,1	30,9	46,8	21
Średnia 1-2 Tydzień	2,27	47,47	31,71	45,18	22,57
<i>Odch. Stand</i>	0,39	4,15	1,26	1,61	1,54
Średnia 3 Tydzień	2,35	48,82	32,4	46,71	23,52
<i>Odch. Stand</i>	0,42	3,55	2,58	2,1	1,22
Średnia 4 Tydzień	2,1	42,94	30,82	44,99	21,95
<i>Odch. Stand</i>	0,34	2,88	1,48	2,41	0,98
Średnia 5 Tydzień	2,52	45,18	31,92	47,85	23,98
<i>Odch. Stand</i>	0,29	4,24	2,57	1,98	1,49
Średnia 6 Tydzień	2,23	46,56	32,55	48,14	22,45
<i>Odch. Stand</i>	0,55	2,94	2,91	2,4	1,11
Średnia 1-6 Tydzień	2,29	46,57	30,99	46,57	22,86
<i>Odch. Stand</i>	0,46	1,63	1,89	1,52	1,64
Średnia 7-10 Tydzień	2,48	45,88	31,45	45,12	23,58
<i>Odch. Stand</i>	0,78	4,57	1,15	2,89	1,83
Średnia 11-14 Tydzień	2,51	46,21	29,87	43,89	22,45
<i>Odch. Stand</i>	0,51	3,78	1,56	1,88	1,45

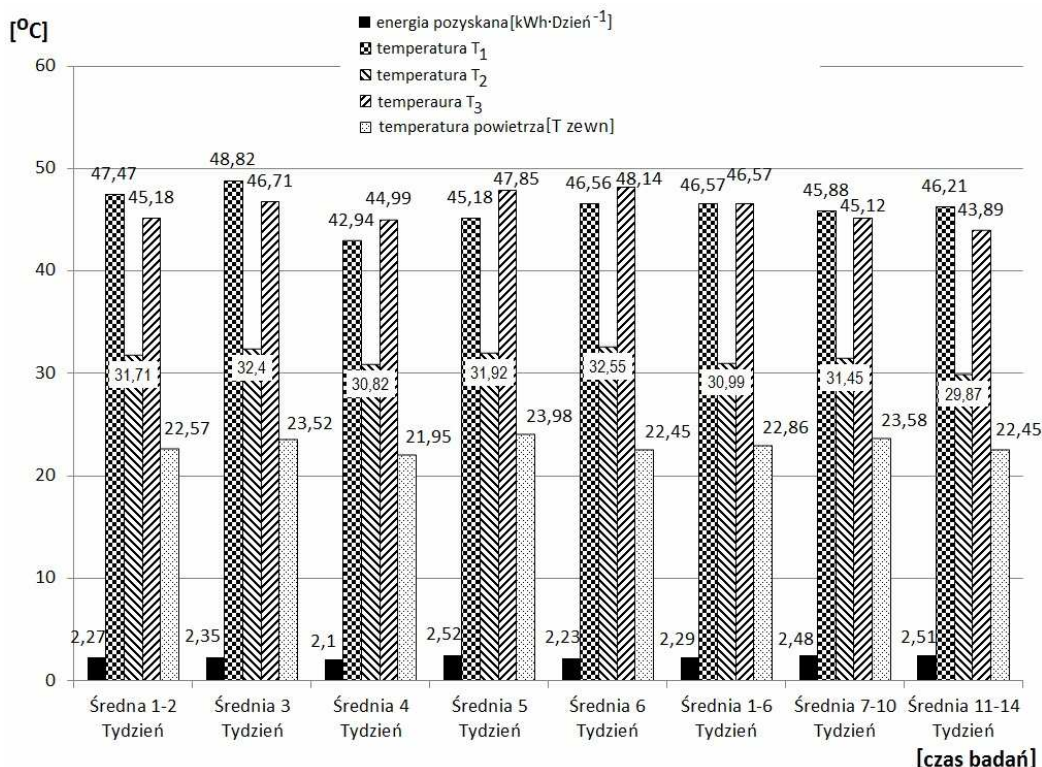
Na rys. 5 przedstawiono średnie wartości pozyskanej energii z czternastu tygodni badań i pracy kolektora słonecznego, temperatury wody użytkowej (T₃) oraz temperatury cieczy roboczej w kolektorze słonecznym (T₁). Jak widać przez cały okres badań średnia temperatura wody użytkowej, podgrzewanej przez cieczowy kolektor słoneczny mieściła się w przedziale ok 45-48°C. Jest to wystarczająco wysoka temperatura wody z przeznaczeniem np. na cele sanitarne, mycie pomieszczeń inwentarskich. Wyniki dotychczas prowadzonych badań można uznać za częściowo spełniające oczekiwania i do prowadzenia w pełni kompleksowych badań mogących dawać zadawalające wyniki. Przeprowadzone badania wykazały, iż system odzysku ciepła dostarczył w okresie jesiennym (wrzesień – listopad) 110 kWh energii, a w okresie późnowiosennym i letnim (maj – październik) 213,5 kWh energii. Przełożyło się to na codziennie pozyskanie energii na poziomie średnio 1,42 kWh dziennie. Maksymalne wartości pozyskania energii latem przy pełnym nasłonecznieniu sięgały około 2,4 kWh/dzień.

Można by wnioskować, iż w okresie letnim odzysk ciepła z kolektora powinien być proporcjonalnie większy niż jesienią. Nie stało się tak z uwagi, iż charakterystyka pracy kolektora i jego właściwości techniczne pozwalają podgrzewać wodę nawet przy niskich temperaturach powietrza jesienią, ale przy intensywnym nasłonecznieniu, natomiast latem nawet przy o wiele wyższej temperaturze powietrza,

lecz dużym zachmurzeniu nieba, efektywność pracy kolektora była bardzo niska lub nawet zerowa.

Natomiast w okresie zimowym z uwagi na to, iż górna węzownica była podłączona do działającego kotła CO i z niego zasilana ciepłą wodą, sprawność instalacji solarnej była bliska zeru. Wynika to z faktu, iż woda użytkowa w wymienniku była nagrzana do temperatury ok. 28-35°C, a zadana wartość $\Delta T=10K$ (uruchamiająca pompę obiegu glikolu w instalacji) wymagałaby zatem temperatury T_1 na kolektorze rzędu ok. 38-45°C. W okresie panujących temperatur na poziomie -10°C do -15°C oraz częstych opadów śniegu i jego zalegania na kolektorze, osiągnięcie takiego poziomu temperatury T_1 było niemożliwe. W wyniku przeprowadzonej analizy uzyskanych rezultatów sformułowano następujące wnioski:

1. W okresie od września do listopada 2010 r. uzyskano 110,0 kWh energii cieplnej (średnio 1,3 kWh/dzień).
 2. W okresie od 5 czerwca do 5 listopada 2011 r. (ok 150 dni badań) uzyskano 213,5 kWh energii (1,42 kWh/dzień).
 3. W okresie od 6 listopada do 2 lutego uzyskano ok. 3,5 kWh energii.
 4. Woda podgrzana za pomocą kolektora słonecznego w zbiorniku buforowym osiągała średnio temperaturę 46,19°C, stanowiąc wystarczające źródło ciepłej wody wykorzystywanej do bieżących potrzeb domowych.
- Podsumowując należy przypomnieć, że instalacji kolektora słonecznego nie powinno się traktować jako jedyne źródła ciepła w budynku. Raczej powinna ona być urządzeniem wspomagającym tradycyjny system grzewczy.



Rys. 5. Fragment wyników badań cieczowego kolektora słonecznego Solaris (Źródło: opracowanie własne)
 Fig. 5. Part of the test of the liquid collector Solaris (Source: own study)

5. Bibliografia

- [1] Dreszer K., Michałek R., Roszkowski A.: Energia odnawialna możliwości jej pozyskiwania i wykorzystywania w rolnictwie. PTIR, Kraków-Wrocław-Warszawa, 2003.
- [2] Kreis-Tomczak K., Szulc R., Pawlak S., Myczko A.: Ekonomiczno-energetyczne aspekty eksploatacji dachu energetycznego. Inżynieria Rolnicza, 2006, 3(78): 183-190.
- [3] Sabba S.: Wykorzystanie energii słonecznej do podgrzewania wody. [W:] Wiśniewski G., Rogulska M. [red.] Odnawialne źródła energii w strategii rozwoju zrównoważonego. Materiały z Międzynarodowego Seminarium Europejskiego Centrum Energii Odnawialnej. IBMER, Warszawa, 1998: 36-42.
- [4] Sonnenberg H., Graef M.: Energie aus der Landwirtschaft, Landtechnik, 1999, Jg.54, nr 1: 16-18.
- [5] Szulc R., Myczko A.: Wpływ stosowania dachu energetycznego na efekty ekonomiczne w chowie zwierząt gospodarskich. Rola infrastruktury i techniki w zrównoważonym rozwoju rolnictwa. Monografia. IBMER, Warszawa, 2005: 101-106.