

KRZYSZTOF NEUPAUER, JANUSZ MAGIERA\*

## ANALIZA SPRAWNOŚCI KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH RÓŻNYCH TYPÓW

### EFFICIENCY ANALYSIS OF DIFFERENT TYPES OF SOLAR COLLECTORS

#### Streszczenie

W artykule przedstawiono podział kolektorów słonecznych, sposób ich działania, a także najczęściej występujące rozwiązania techniczne. Pokazano skalę możliwości konwersji energii słonecznej do energii cieplnej w warunkach polskich. Na wykresie przedstawiono zależność sprawności typowych kolektorów w funkcji zredukowanej różnicy temperatur.

*Słowa kluczowe: promieniowanie słoneczne, kolektory słoneczne, sprawności kolektorów*

#### Abstract

In this article, the various types of solar collectors, the way of their working and the most popular their technical solution have been described. The scale of the possibility of the solar energy conversion to thermal energy in Polish conditions has been presented. Collector efficiency versus reduced difference of medium temperature in the collector and ambient temperature has been shown in graphic form.

*Keywords: solar insolation, solar collectors, efficiency of solar collectors*

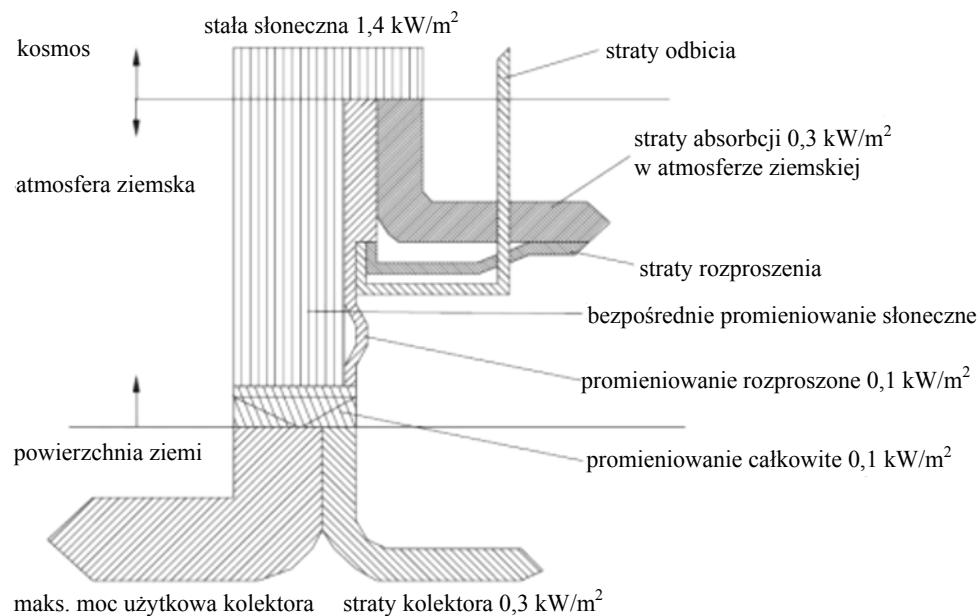
\* Mgr inż. Krzysztof Neupauer, prof. dr hab. inż. Janusz Magiera, Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Słońce jest największym źródłem energii odnawialnej dla kuli ziemskiej. W ciągu roku dociera do Ziemi energia w ilości  $3,9 \cdot 10^{24}$  J, co jest równoważne  $1,08 \cdot 10^{18}$  kWh [1]. Jest to energia ponad 10 tysięcy razy większa niż cała energia pierwotna zużywana w tym czasie na Ziemi [1].

Promieniowanie słoneczne zależy silnie od regionu i pory roku, a dla obszaru środkowej Europy dzienny strumień energii waha się od  $7,5 \text{ kWh/m}^2/\text{dobę}$  – latem do  $0,1 \text{ kWh/m}^2/\text{dobę}$  – zimą. Suma globalnego rocznego promieniowania dla tego obszaru określana jest na poziomie  $700\text{--}1000 \text{ kWh/m}^2$ , a średnioroczna liczba godzin słonecznych wynosi około 1600. Tutaj nasuwa się pytanie, ile z tej energii, w konwersji do energii cieplnej, można pozyskać z użyciem kolektorów słonecznych.

Kolektor słoneczny jest urządzeniem służącym do konwersji energii promieniowania słonecznego do energii cieplnej (rys. 1). Energia docierająca do kolektora odbierana jest przez medium pośredniczące, które przekazuje ją dalej do odbiorników. Medium tym może być strumień gazu (np. powietrza) lub strumień cieczy (wody, płynu niezamarzającego).



Rys. 1. Bilans mocy promieniowania słonecznego – warunki optymalne [2]

Fig. 1. The balance of solar radiation intensity – the optimum conditions [2]

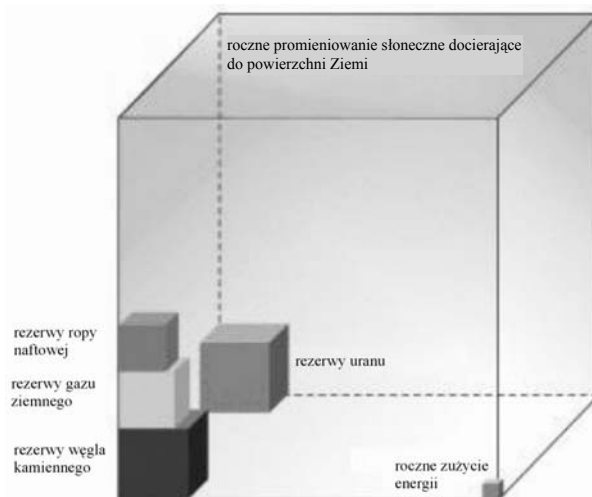
Na rysunku 2 przedstawiono przeciętne jednostkowe nasłonecznienie w ciągu roku na terenie Polski.

Energia cieplna pozyskiwana z promieniowania słonecznego zaliczana jest do odnawialnych źródeł energii (OZE), a jej zasoby są praktycznie nieograniczone (rys. 3).



Rys. 2. Przeciętne nasłonecznienie 1 m<sup>2</sup> powierzchni Polski w skali roku [3]

Fig. 2. The average insolation in Poland in kilowatt-hours per square meter per year [3]



Rys. 3. Światowe rezerwy energii [1]

Fig. 3. World energy reserves [1]

Podstawowym elementem każdego kolektora słonecznego jest płyta pochłaniająca, czyli absorber, na powierzchni którego absorbowane jest promieniowanie słoneczne i w ten sposób następuje konwersja termiczna energii tego promieniowania. Absorber powinien być wykonany z materiału dobrze przewodzącego ciepło. W tym celu najczęściej stosuje się miedź lub aluminium. Materiał ten jest pokryty substancjami tworzącymi jego powłokę. Powłoka nieselektywna bardzo dobrze absorbuje ciepło, ale także dużo go emituje, wykonana jest zazwyczaj z czarnych lakierów. Powłoka selektywna również bardzo dobrze absorbuje ciepło, jednocześnie ograniczając emisję. Wykonuje się ją w wyniku galwanicznego nałożenia czarnego chromu bądź innych związków chemicznych. W tabeli 1 podano selektywności wybranych materiałów. Płyty absorbera połączone są z przewodami, którymi przepływa ciecz robocza, tzw. czynnik solarny.

Tabela 1

**Właściwości materiałów stosowanych  
na powłokach absorberów kolektorów słonecznych [4]**

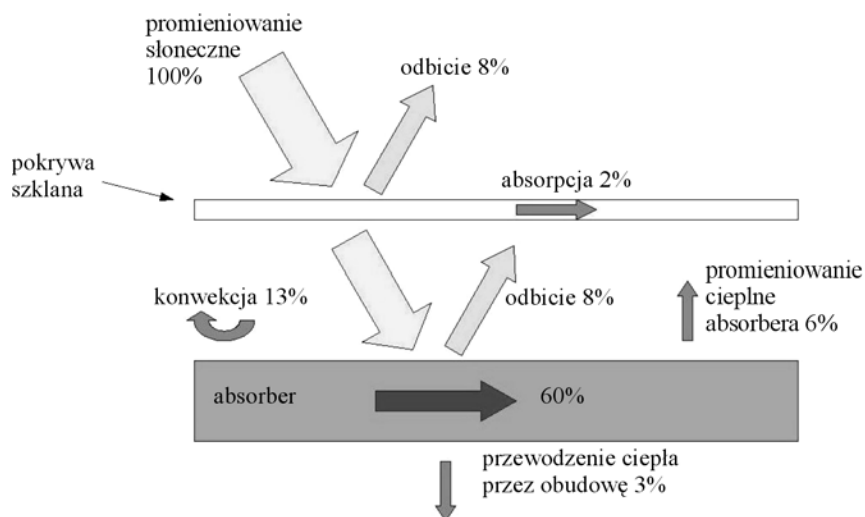
Materiał	Współczynnik pochłaniania $[\alpha]$	Współczynnik emisji $[\varepsilon]$	Selektywność $[\alpha/\varepsilon]$
Aluminium pokryte (CuO)	0,85	0,11	7,7
Cu-czarna (miedź czerniona przez Działanie NaOH + NaClO <sub>2</sub> )	0,93	0,11	8,5
Czerń chromowa	0,98	0,14	7,0
Tinox	0,95	0,05	19
Sunselect	0,95	0,05	19
Blue Tec	0,95	0,05	19
Lakier solarny	0,90	0,25	3,6

W zależności od czynnika pośredniczącego w odbiorze energii kolektory dzielą się na cieczowe i powietrzne.

Ze względu na budowę kolektory cieczowe dzielą się na:

- płaskie,
- płaskie próżniowe,
- rurowo-próżniowe,
- skupiające.

Na rysunku 4 przedstawiono przykładowy rozkład strumienia promieniowania słonecznego w obszarze kolektora płaskiego.



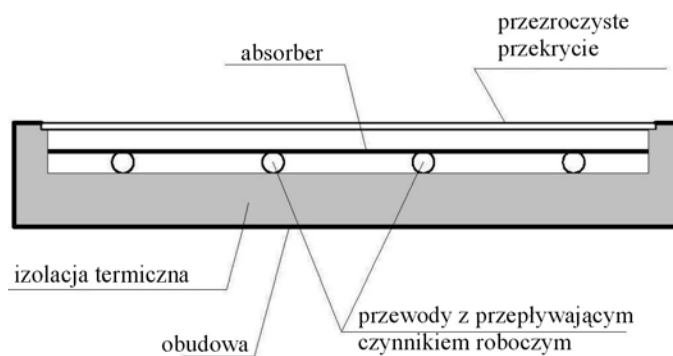
Rys. 4. Orientacyjny bilans energii w obszarze kolektora płaskiego [5]

Fig. 4. Reference balance of energy in the solar flat plate collector area [5]

## 2. Kolektory płaskie cieczowe

Jak pokazano na rys. 5, płaskie cieczowe kolektory składają się z:

- absorbera,
- przewodów z przepływającym czynnikiem roboczym,
- izolacji,
- obudowy,
- przezroczystego przekrycia.



Rys. 5. Przekrój poprzeczny typowego kolektora płaskiego cieczowego

Fig. 5. The cross-section of typical solar liquid flat plate collector

Absorber stanowi płytę absorbującą energię, do której przytwierdzone są kanały przepływowe (rurki) czynnika lub dwie płyty tłoczone połączone ze sobą, z układem kanałów między nimi. Kanały którymi przepływa czynnik w absorberze podłączone są do kanałów zbiorczych dostarczających i odbierających czynnik z kolektora. Część przepływowa kolektora umieszczona jest w obudowie izolowanej od spodu i po bokach materiałem o niskim współczynniku przewodzenia ciepła. Wolną przestrzeń nad absorberem zamyka najczęściej jedna szyba. Zadaniem tego szczelnego zamknięcia jest minimalizacja strat ciepła przez konwekcję od nagrzanej powierzchni absorbera.

### 3. Kolektory rurowe próżniowe (typu *heat pipe*)

Kolektory rurowe próżniowe zbudowane są z dwóch szklanych rur, podobnie jak w naczyniu dewara. Zewnętrzna rura stykająca się z powietrzem zewnętrznym jest przezroczysta dla promieniowania słonecznego, zaś wewnętrzną pokrywa warstwa absorbera. Ogrzewanie płynu następuje przez zamkniętą pojedynczą rurę nazywaną także rurką ciepła, działającą na zasadzie kondensatora (rys. 6).



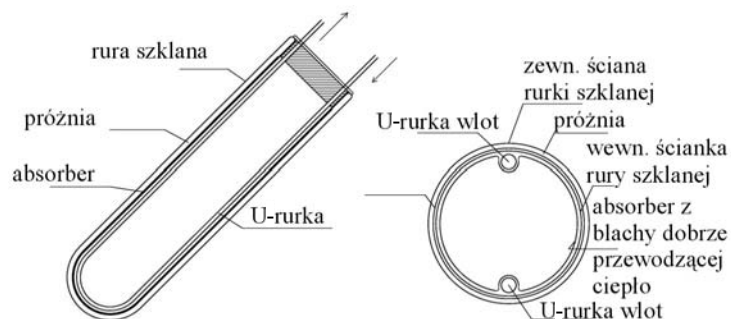
Rys. 6. Kolektor z rurką ciepła

Fig. 6. Heat pipe solar collector

W rurkach ciepła znajduje się łatwo odparowująca ciecz, która paruje przy ogrzewaniu rur od promieniowania słonecznego. Para przechodzi konwekcyjnie do końcówki rury (kondensatora) umiejscowionej w kanale zbiorczym będącym wymiennikiem ciepła. Poprzez kondensator ciepło oddawane jest do kanału głównego w szynie zbiorczej kolektora. W kondensatorze para zamieniana jest w ciecz i spływa w dół do ponownego nagrzewania.

### 4. Kolektory rurowe próżniowe z U-rurką

Kolektory te składają się z rury próżniowej o podwójnej ściance, absorbera odbierającego energię promieniowania słonecznego – cienkiej blachy przewodzącej ciepło oraz miedzianej rurki wygiętej w kształt litery U, wewnątrz której przepływa płyn (rys. 7), będący czynnikiem pośredniczącym w wymianie ciepła.

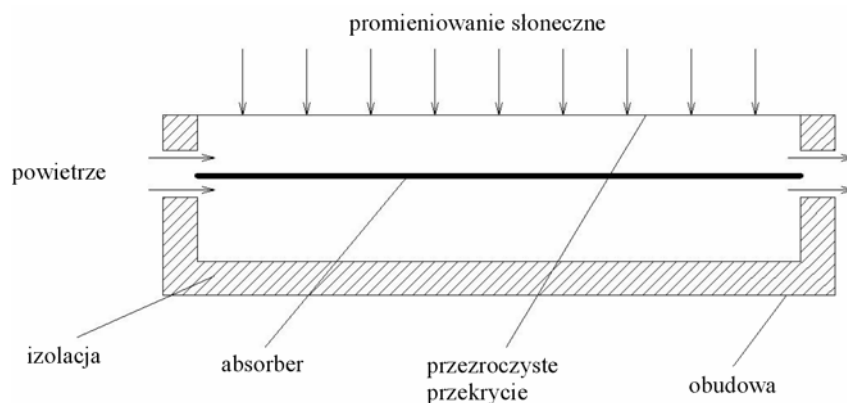


Rys. 7. Budowa i przekrój kolektora z U-rurką

Fig. 7. The geometry of U-pipe solar collectors

## 5. Kolektory powietrzne

Kolektory powietrzne działają na tej samej zasadzie co kolektory cieczowe. Absorber pochłania promieniowanie słoneczne. Powietrze, będące medium roboczym, przepływając wzdłuż absorbera, przejmuje od niego energię cieplną, podwyższając swoją temperaturę. Wymiana energii pochłoniętej może odbywać się w przestrzeni nad lub pod absorberem. Przestrzeń tę oddziela od otoczenia przezroczyste pokrycie od strony nasłonecznionej oraz izolacja cieplna od strony nienasłonecznionej (rys. 8). W pracy [6] analizowano efektywność cieplną słonecznych kolektorów powietrznych.



Rys. 8. Przekrój typowego kolektora powietrznego

Fig. 8. Cross-section of typical solar air flat plate collector

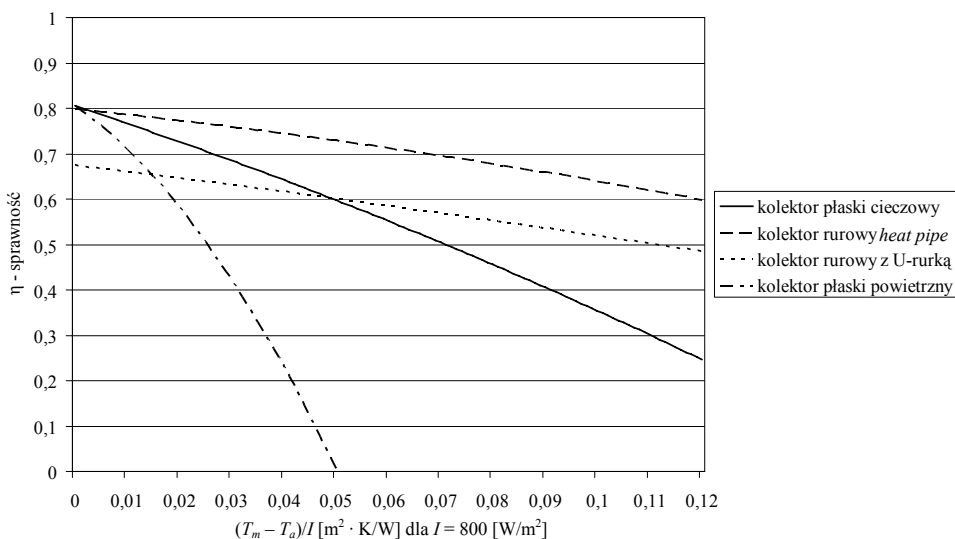
Podział kolektorów powietrznych:

- ze względu na kształt i postać absorbera:
  - płaskie,
  - profilowane,

- porowate z tworzyw gąbczastych,
- z płyt porowatych,
- gładkie,
- z wiórów metalowych;
- ze względu na usytuowanie kanału przepływu powietrza:
  - z przepływem powietrza nad absorberem,
  - z przepływem powietrza pod absorberem,
  - z przepływem powietrza nad i pod absorberem;
- ze względu na istnienie izolacji termicznej:
  - kolektory z izolacją,
  - kolektory bez izolacji.

## 6. Porównanie sprawności wybranych kolektorów słonecznych

Sprawność kolektora to stosunek energii odebranej przez czynnik roboczy do ilości energii promieniowania słonecznego docierającego do kolektora. Sprawność kolektora spada wraz ze wzrostem różnicy temperatury pomiędzy czynnikiem roboczym a otoczeniem. Wykres (rys. 9) przedstawia zależności sprawności kolektorów słonecznych w funkcji zredukowanej różnicy temperatur, tj. różnicy średniej temperatury czynnika roboczego i temperatury otoczenia odniesionej do natężenia promieniowania słonecznego.



Rys. 9. Wykres sprawności wybranych kolektorów [7], gdzie:  $T_m$  – średnia temperatura czynnika roboczego,  $T_a$  – temperatura otoczenia,  $I$  – natężenie promieniowania słonecznego

Fig. 9. Efficiency graph of various types of solar collectors [7],  $T_m$  – mean collector temperature,  $T_a$  – ambient air temperature,  $I$  – solar irradiance



Wyniki długookresowych badań sprawności kolektorów płaskich i próżniowych prowadzonych w warunkach rzeczywistych opublikowano w pracy [8].

Z rysunku 9 wynika, że sprawność wszystkich typów kolektorów jest największa przy możliwie najniższej temperaturze ich pracy w stosunku do temperatury otoczenia. Niska temperatura pracy kolektora powoduje jednak to, że czynnik solarny na wylocie z kolektora posiadać będzie niską temperaturę, co będzie miało swoje konsekwencje dla warunków oddawania energii cieplnej z kolektora do zasobnika ciepła lub innego odbiornika ciepła.

Wraz ze wzrostem temperatury pracy kolektora najszybciej spadać będzie sprawność kolektorów powietrznych, co związane jest z warunkami przejmowania ciepła przez fazę gazową. Wybór warunków pracy kolektora, co może być sterowane zmianą wielkości strumienia czynnika odbierającego energię słoneczną, będzie sprawą bardzo istotną z punktu widzenia sprawności całej instalacji z kolektorami słonecznymi. Stąd też z punktu widzenia efektywności wykorzystania energii cieplnej pochodzącej z kolektorów słonecznych najkorzystniejsze jest niskotemperaturowe ogrzewanie płaszczyznowe, takie jak np. ogrzewanie podłogowe lub ścienne [9].

Różnicę sprawności dla kolektorów próżniowych z U-rurką i kolektorów typu *heat pipe* należy traktować orientacyjnie, gdyż aktualnie prowadzone badania tego typu kolektorów, również ich modyfikacji, nie zawsze się pokrywają.

#### Literatura

- [1] Quaschnig V., *Regenerative Energiesysteme*, Carl Hanser Verlag München, Wien 1998.
- [2] Zakład metalowo-elektryczny „APAREL”, [www.aparel.com](http://www.aparel.com) (strona dostępna w dniu 04.04.2009).
- [3] Viessmann Sp. z o.o., broszury informacyjne, [www.viessmann.pl](http://www.viessmann.pl) (strona dostępna w dniu 04.04.2009).
- [4] Wiśniewski G., Gołębiowski S., Gryciuk M., Kurowski K., Więcka A., *Kolektory słoneczne, energia słoneczna w mieszkalnictwie, hotelarstwie i drobnym przemyśle*, Dom Wydawniczy MEDIUM, Warszawa 2008.
- [5] Centrum promowania innowacji w energetyce, biuletyn informacyjny, [www.ceprin.wroc.pl](http://www.ceprin.wroc.pl) (strona dostępna w dniu 04.04.2009).
- [6] Natkanić P., Laszuk A., *Inżynieria i aparatura chemiczna*, nr 6/2007, 22-26.
- [7] DAS INSTITUT FÜR SOLARTECHNIK SPF, dane techniczne, [www.solarenergy.ch](http://www.solarenergy.ch) (strona dostępna w dniu 04.04.2009).
- [8] Magiera J., Efficiency of Solar Collectors and Air Heat Pump under Real Conditions, *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 13, III (2004), 18-121.
- [9] Pluta Z., *Słoneczne instalacje energetyczne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.