

Brunon GROCHAL, Jarosław MIKIELEWICZ  
Instytut Maszyn Przepływowych PAN Gdańsk

## MODEL KOLEKTORA SŁONECZNEGO Z POCHŁANIANIEM ENERGII W OBJĘTOŚCI

**Streszczenie.** W pracy rozpatrzono wymianę ciepła w kolektorze wypełnionym materiałem porowatym optycznie czynnym. Sformułowano równanie opisujące wymianę ciepła z uwzględnieniem przewodnictwa, promieniowania i konwekcji dla elementu wymiennika oraz warunki brzegowe. Podano rozwiązanie dla przypadku braku odprowadzenia ciepła przez konwekcję.

### 1. Wprowadzenie

Kryzys energetyczny spowodował duże zainteresowanie nowymi źródłami energii, zwłaszcza energią słoneczną. Podstawowym problemem związanym z wykorzystaniem tej energii jest jej niska gęstość strumienia, w Polsce wahająca się w przedziale do  $500 \text{ W/m}^2$ . Poszukuje się efektywnych metod wykorzystania energii słonecznej. Jedną z możliwości atrakcyjną w polskich warunkach klimatycznych jest absorbowanie tej energii w płaskich kolektorach. Tego typu kolektory wykorzystują energię docierającą do nich w postaci promieniowania bezpośredniego oraz rozproszonego /dyfuzyjnego/, którego udział w całości promieniowania u nas sięga do 50 %.

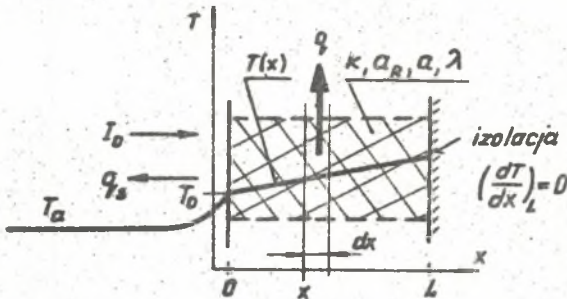
Wadą płaskich kolektorów jest trudność uzyskania wysokich temperatur nośnika energii - nawet przy użyciu pokryć selektywnych temperatury nie sięgają  $200^\circ\text{C}$ .

Aby przewyżczyć te ograniczenia proponuje się nowy typ płaskiego kolektora, w którym absorpcja energii promieniowania zachodzi w całej objętości półprzezroczystego porowatego absorbera. Absorber przekazuje ciepło czynnikowi przepływającemu przez niego. Praca poświęcona jest uproszczonej analizie teoretycznej takiego kolektora, w celu porównania kolektora badanego z tradycyjnymi.

### 2. Opis matematyczny kolektora

Do analizy przyjęto absorber objętościowy w postaci porowatej warstwy półprzezroczystego materiału o grubości  $L$ , współczynnika pochłaniania promieniowania krótkofalowego /słonecznego/  $k$  i długofalowego /cieplnego/  $a_R$ , porowatości scharakteryzowanej współczynnikiem  $\alpha$  stosunku powierzchni przejmowania ciepła do jednostki objętości. Warstwa absorbera jest z jednej strony ograniczona powierzchnią przezroczystą, z drugiej strony powierzchnią doskonale czarną, która jest izolowana od otoczenia. Do wnętrza absor-

bera przez powierzchnię przezroczystą wnika strumień promieniowania  $I_0$ , którego część  $q$  jest przekazywana czynnikowi chłodzącemu, a reszta jest przekazywana przez powierzchnię przezroczystą do otoczenia i stanowi stratę  $q_s$ , wg rys.1.



Rys.1. Model kolektora słonecznego z pochłanianiem energii w objętości

Przyjęto następujące założenia:

1. pochłonięta w elemencie  $dx$  energia promieniowania krótkofalowego jest oddawana drogą promieniowania ciepłnego i przewodnictwa sąsiednim warstwom absorbera oraz drogą konwekcji czynnikowi chłodzącemu,
2. energia promieniowania krótkofalowego  $I_0$  jest pochłaniana w absorberze wg zależności

$$\frac{dT_x}{dx} = -I_0 k e^{-kx} \quad (1)$$

zaś część nie pochłonięta przez złożo absorbowana jest przez powierzchnię doskonale czarną,

3. materiał złoża traktuje się jako ośrodek optycznie gruby, w którym promieniowanie ciepłne przenoszone jest "dyfuzyjnie" wg modelu Rosselanda:

$$q_R = -\frac{16}{3} \frac{\epsilon}{a_R} T^3 \frac{dT}{dx} = -\lambda_R \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

4. stratę energii do otoczenia wyraża zależność

$$q_s = 6T_0^4 + h_a (T_0 - T_a) \quad (3)$$

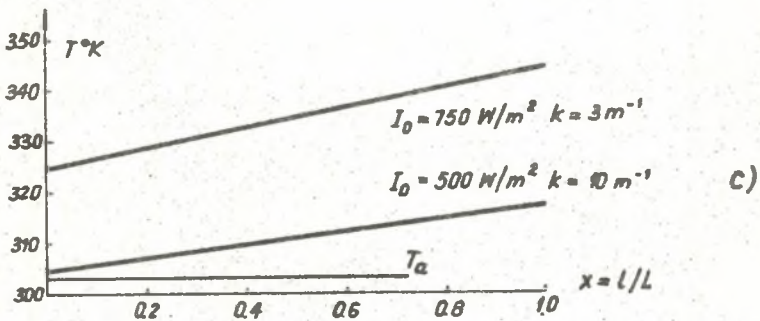
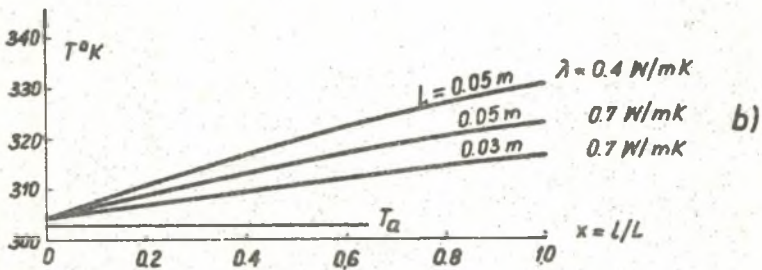
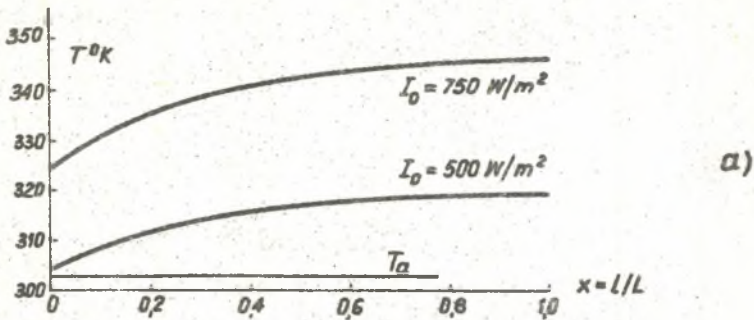
5. przejmowanie ciepła przez czynnik chłodzący opisane jest zależnością

$$q = h_f a (T - T_f) dx \quad (4)$$

gdzie  $h_a$  i  $h_f$  są współczynnikami przejmowania ciepła, a  $T_f$  temperaturą czynnika chłodzącego niezależną od  $x$ .

Przy powyższych założeniach rozważane zagadnienie można opisać równaniem

$$\frac{dT}{dx} \left[ (\lambda + \lambda_R) \frac{dT}{dx} \right] + h_f a (T - T_f) = -I_0 k e^{-kx} \quad (5)$$



Rys. 2. Rozkłady temperatur: a/wpływ gęstości strumienia, b/wpływ grubości warstwy i jej przewodnictwa cieplnego, c/wpływ współczynnika pochłaniania.

z warunkami brzegowymi

$$x = 0: \quad 6T_0^4 + h_a(T_0 - T_a) - [(\lambda + \lambda_R)\left(\frac{dT}{dx}\right)]_0 \quad (6)$$

$$x = L: \quad I_L - [(\lambda + \lambda_R)\left(\frac{dT}{dx}\right)]_L \quad (7)$$

Przedstawione równanie, nieliniowe, rozwiązano numerycznie metodą Rungego-Kutty, po sprowadzeniu zagadnienia brzegowego do zagadnienia początkowego, do czego wykorzystano globalny bilans energii kolektora. Bilans ten uzyskano całkując (5) w granicach od 0 do L przy wykorzystaniu (6) i (7) :

$$I_0 - [\epsilon T_0^4 + h_a(T_0 - T_a)] = \left( \int_0^L h_f a(T - T_f) dx - q \right) \quad (8)$$

Na obecnym etapie pracy wyznaczono rozkłady temperatur  $T(x)$  w absorberze dla  $q = 0$ . Wówczas warunek (8) pozwala wyznaczyć wartość początkową  $T_0$  odpowiadającą przyjmowanej wartości  $I_0$ . Niektóre przykładowe wyniki obliczeń przedstawiono na rysunkach 2a, b, c. Obliczenia dla  $q \neq 0$  są w toku.

Przedstawione wyniki ilustrują wpływ poszczególnych parametrów na rozkład temperatury w absorberze dla  $q = 0$ .

#### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛЛЕКТОРА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ С АБСОРБЦИЕЙ ПО ОБЪЕМУ

#### Резюме

В работе рассмотрен теплообмен в коллекторе насыщенном пористым поглощающим материалом. Определены уравнения для сложного теплообмена радиацией, конвекцией и теплопроводностью с учётом краевых условий. Приведено решение для случая теплообмена с отсутствием конвекции. Влияние разных параметров на результаты расчётов указано на рис. 2.

#### A MATHEMATICAL MODEL OF A SOLAR ENERGY COLLECTOR WITH ABSORBING IN THE VOLUME

#### Summary

Heat transfer in a collector filled with porous optically active material is discussed. Heat transfer equations for radiative, conductive and convective heat transfer, taking into account the boundary conditions, are formulated. A solution for a case without convection has been given. The influence of various parameters on the calculated results, on the fig. 2 is shown.

Praca wpłynęła do Redakcji w maju 1985 r.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Edward Kostowski