
KOMITET TECHNIKI ROLNICZEJ PAN
POLSKIE TOWARZYSTWO INŻYNIERII ROLNICZEJ

INŻYNIERIA ROLNICZA
AGRICULTURAL ENGINEERING

Rok XVII

2(144)T.2

Kraków 2013

Rada Naukowa Wydawnictw KTR PAN

czł. rzecz. PAN prof. dr hab. inż. Janusz Haman – przewodniczący
czł. rzecz. PAN prof. dr hab. inż. Rudolf Michałek – wiceprzewodniczący
Prof. dr hab. Małgorzata Bzowska-Bakalarz
Prof. dr hab. Jan Bronisław Dawidowski
Prof. dr hab. Józef Szlachta
Prof. dr hab. Jerzy Weres
Prof. dr hab. Zdzisław Wójcicki
Prof. Radomir Adamovsky (Rep. Czeska)
Prof. Stefan Cenkowski (Kanada)
Doc. Ing. Ján Frančák, CSc. (Słowacja)
Prof. Jürgen Hahn (Niemcy)
Prof. Dorota Haman (USA)
Doc. Ing. Zuzana Hlaváčová, CSc. (Słowacja)
Prof. Gerard Wiliam Isaacs (USA) – czł. zagr. PAN
Prof. Oleg Sidorcuk (Ukraina)

Komitet Redakcyjny

czł. rzecz. PAN prof. dr hab. inż. Rudolf Michałek – redaktor naczelny
czł. rzecz. PAN prof. dr hab. inż. Janusz Haman
prof. dr hab. inż. Janusz Laskowski
dr hab. inż. Maciej Kuboń – sekretarz

Redaktor statystyczny

dr Stanisława Roczkowska-Chmaj

Redaktor językowy

mgr Mirosław Grzegórzek

Praca wykonana w Katedrze Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Recenzenci:

Prof. dr hab. Janusz Piechocki – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Mokrzycki – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi
i Energią PAN

Wydawca: Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków 2013

Druk i oprawa:

DRUKROL S.C., Kraków, ul. Ujastek 9
tel./fax: +48 12 412-46-50; <http://www.drukrol.pl>
Ark. Wyd. 6,0 Ark. druk. 5,5
Nakład: 150 egzemplarzy

Monografie i Rozprawy

Nr 2(36)

Jarosław Knaga

**MODELOWANIE TRANSFERU ENERGII
ELEKTRYCZNEJ I CIEPŁA W MAŁYCH,
AUTONOMICZNYCH UKŁADACH
SOLARNYCH**

(rozprawa habilitacyjna)

Spis treści

1.	Wstęp	11
2.	Uzasadnienie problemu naukowego	13
2.1.	Przegląd konstrukcji termicznych instalacji solarnych	17
2.1.1.	Pasywne instalacje solarne	18
2.1.2.	Aktywne instalacje solarne	22
2.1.3.	Termo-fotowoltaiczne instalacje solarne – układy autonomiczne	23
3.	Cel i zakres pracy	27
4.	Przedmiot i metodyka badań	28
4.1.	Opis stanowiska badawczego	28
4.2.	Metodyka	36
4.2.1.	Opracowanie danych	36
4.2.2.	Analiza teoretyczna systemu	37
4.2.3.	Model energii generowanej przez moduł PV	41
4.2.4.	Model promieniowania słonecznego	44
5.	Analiza wyników badań	51
5.1.	Przybliżone metody określania gęstości strumienia na płaszczyznę pochyloną	51
5.2.	Parametry charakteryzujące potencjał energii słonecznej	57
5.3.	Analiza układu zasilania pompy obiegowej	60
5.3.1.	Analiza punktu pracy modułu fotowoltaicznego	61
5.3.2.	Analiza parametrów pracy pompy obiegowej	65
5.3.3.	Symulacja parametrów pracy pompy obiegowej	67
5.4.	Analiza wymiany ciepła w autonomicznym układzie solarnym	69
5.4.1.	Określenie współczynnika przejmowania ciepła dla kolektora pracującego w autonomicznym układzie solarnym	69
5.4.2.	Analiza pracy płaskiego kolektora słonecznego w autonomicznym układzie solarnym	74
5.4.3.	Weryfikacja modeli i symulacja	78
6.	Wnioski	95
7.	Podsumowanie i kierunki dalszych badań	97
8.	Streszczenie	100
9.	Literatura	102

Modelowanie transferu energii elektrycznej i ciepła w małych, autonomicznych układach solarnych

Streszczenie

W pracy przedstawiono nowe rozwiązanie konstrukcji solarnej instalacji do wspomaganie przygotowania ciepłej wody użytkowej, które jest przeznaczone do pracy w autonomii źródła ciepła. Konstrukcja takiej instalacji solarnej będącej połączeniem modułu fotowoltaicznego i płaskiego kolektora słonecznego pozwala na wykorzystanie efektu spójności pracy tych urządzeń w jednym układzie, który zapewnia wspomaganie przygotowania cwu bez potrzeby zasilania energią elektryczną układu wymuszenia wymiany ciepła i sterowania. Rozwiązanie to wpisuje się w potrzeby gospodarstw położonych na obszarach wiejskich, gdzie ciągle jeszcze występują przerwy w zasilaniu energią elektryczną, co dla aktywnych instalacji solarnych jest dużym zagrożeniem prowadzącym do ich uszkodzenia.

Na potrzeby implementacji autonomicznych instalacji solarnych w praktyce, została opracowana metodyka dająca podstawy do projektowania i badania tego typu układów solarnych. Opracowana metodyka opiera się na modelach analitycznych, które są uzupełniane zależnościami wyznaczonymi empirycznie. Do opisanie mocy generowanej przez moduł PV opracowano zależność analityczną, którą sprowadzono do następujących zmiennych niezależnych, tj. gęstości strumienia promieniowania słonecznego, temperatury pracy, powierzchni modułu i stałej będącej sprawnością eksploatacyjną tego modułu. Sprawność modułu zasilającego pompę obiegową napięcia stałego sprowadzono do zależności wiążącej stałe wyznaczone dla modułu PV w warunkach STC i napięcia stabilizacji zadanego na pompie obiegowej. Moc generowana przez moduł posłużyła do wyjaśnienia natężenia przepływu czynnika roboczego w instalacji solarnej zależnością logarytmiczną, wyznaczoną empirycznie.

W opracowaniu do połączenia strumienia energii elektrycznej generowanej przez moduł ze strumieniem ciepła indukowanego w płaskim kolektorze słonecznym wykorzystano bezwymiarowy współczynnik odprowadzenia ciepła z kolektora. W oparciu o tak wyznaczony współczynnik opracowano zestaw modeli opisujących stan energetyczny autonomicznej instalacji solarnej, które rozwiązano w programie Matlab Symuling. Należy podkreślić, że opracowane modele bardzo dobrze opisują procesy zachodzące w autonomicznym układzie solarnym, co zostało zweryfikowane na próbach o różnej zmienności gęstości promieniowania słonecznego.

Ponadto na potrzeby weryfikacji modeli przeprowadzono analizę gęstości promieniowania słonecznego, docierającego do powierzchni pochylonej pod kątem 30° i ekspozycji południowej.

Słowa kluczowe: płaski kolektor słoneczny, moduł PV, autonomiczna instalacja solarna, sterowanie obiegiem czynnika roboczego, modelowanie wymiany energii

Modelling electric energy and heat transfer in small autonomous solar systems

Summary

The paper presents a new solution of a solar installation structure intended to support warm utility water preparation, which is intended for operation in the autonomy of the heat source. Structure of such solar installation which is a combination of a photovoltaic module and a flat solar collector allows to use the effect of operation coherence of these devices in a one system, which ensures the support of warm utility water preparation with no need to supply the system of heat exchange enforcement and control with electric energy. This solution is adequate for the needs of farms located in rural areas, where stoppages in electric energy supply still occur, which for active solar installations is a considerable threat leading to their damage.

For the needs of implementation of autonomous solar installation in practice, a methodology was developed which gives basis for designing and testing this type of solar systems. A developed methodology is based on analytical models, which are completed with dependencies empirically determined. Analytical dependence was developed to describe the power generated by PV module, which was verified for the following independent variables, i.e. density of the solar radiation stream, working temperature, the area of a module and a constant which is an operational efficiency of this module. Efficiency of the module which supplies a circuit pump of the constant voltage was taken down to dependence which binds constants determined for PV module in conditions STC and the stabilization voltage set in the circuit pump. Power generated by a module was used to explain the intensity of operational factor flow in a solar installation with a logarithmic dependence which was set empirically.

A dimensionless coefficient of heat removal from a collector was used in the paper for combination of the electric energy stream generated by a module with a stream of induced heat in a flat solar collector. In the paper, the set of models describing an energy conditions of an autonomous solar installation, which were later solved in Matlab Symuling, were developed based on the coefficient which was determined in the above-mentioned way. It should be emphasised that the developed models, describe well the processes occurring in the autonomous solar system, which was verified on tests of various density variability of solar radiation. Moreover, for the needs of verification of models, a density analysis of solar radiation which reaches the surface inclined under the angle 30° and the south exposition, was carried out.

Key words: flat solar collector, PV module, autonomous solar installation, controlling the circulation of the operational factor, energy exchange modelling.