

BADANIE DYNAMIKI WYMIANY CIEPŁA PRZY ZASTOSOWANIU TECHNIK FILMOWYCH

Ewa Piotrowska, Andrzej Chochowski

Katedra Podstaw Inżynierii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

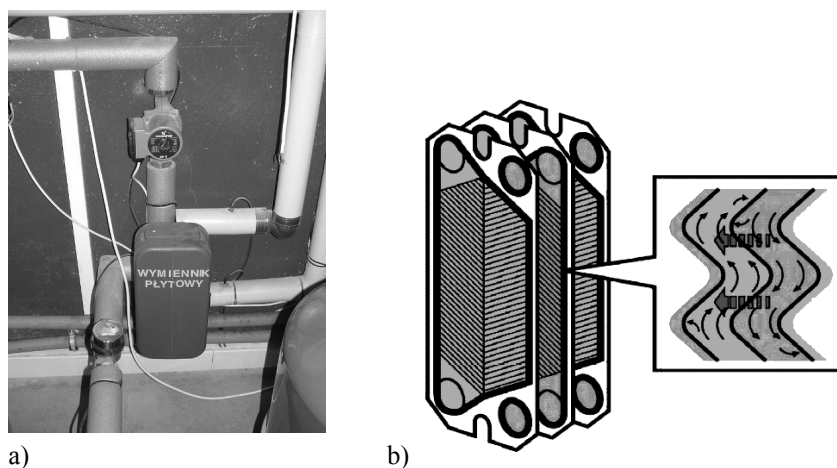
Streszczenie. W celu modelowania sieci hybrydowego układu zasilanego źródłami energii odnawialnej tworzony jest schemat zastępczej sieci cieplnej, składającej się z elementów obrotu elektrycznego, odpowiadających – przy zastosowaniu analogii termoelektrycznej – elementom rzeczywistym. Prowadzone są prace nad stworzeniem modelu wymiennika ciepła, których fragmentem są eksperymenty nad elementami modelującymi wymiennik ciepła: element aktywny nagrzewa element pasywny poprzez medium, jakim jest powietrze. W opisanym fragmencie prowadzonych prac zastosowano smugoskop do zbadania pól temperatury, tworzących się w otoczeniu badanych elementów i pomiędzy nimi. Zaobserwowano zjawisko wzajemnego przekazywania sobie energii między elementem aktywnym i pasywnym, a ponadto intensywny ruch konwekcyjny, a więc w efekcie pole temperatur wewnątrz nagrzewanej spirali i nad jej centrum.

Słowa kluczowe: smugoskop, wymiana ciepła, wymiennik ciepła, techniki filmowe

Wstęp

Ze względu na coraz większą świadomość proekologiczną i kurczenie się zasobów energii konwencjonalnej coraz istotniejsze staje się wykorzystanie różnych technik, mających na celu pozyskanie energii ze źródeł odnawialnych. Ich zastosowanie napotyka na wiele barier, poza wysokimi na ogół kosztami inwestycyjnymi. Jedną z barier jest np. sezonowość źródeł odnawialnych, związanych w sposób nierozzerwalny z intensywnością promieniowania słonecznego (bezpośrednio lub pośrednio). Wiąże się to nie tylko z występowaniem najsilniejszego nasłonecznienia, a więc możliwością pozyskania maksimum energii w czasie, gdy zapotrzebowanie na nią jest z tego samego powodu niewielkie, a możliwość akumulowania energii cieplnej znikoma. Problemem jest również jej dobowa zmienność (z minimum w nocy, przy równoczesnym maksimum zapotrzebowania) i zmieniające się inne parametry. Przy tak zróżnicowanych i złożonych źródłach energii, z jakimi mamy do czynienia w przypadku źródeł odnawialnych, w najwyższym stopniu celowym

wyduje się określenie modelu matematycznego, który byłby w stanie bez kosztownych eksperymentów umożliwić symulacje złożonych sytuacji rzeczywistych. Katedra Podstaw Inżynierii SGGW od wielu lat prowadzi badania na rzeczywistym obiekcie, zasilanym przez hybrydowy system energii odnawialnej, w celu określenia modelu matematycznego, włączającego wszystkie źródła w spójny system. Badania są prowadzone w Regionalnym Centrum Edukacji w Budach Grabskich koło Skierniewic, które dzięki współpracy Katedry Podstaw Inżynierii i lokalnych władz samorządowych zostało wyposażone w hybrydowy system zasilania w energię. Podstawowymi elementami tego systemu są płaskie kolektory cieczowe oraz kolektory próżniowe, ponadto w jego skład wchodzi: pompa ciepła, wymiennik gruntowy, wymienniki płytowe, zbiorniki ciepłej wody użytkowej oraz zestaw sterujący automatyką. Ze względu na włączenie w system elementów przetwarzających różne rodzaje energii, celem jest stworzenie spójnego opisu, jednolitego dla wszystkich elementów systemu. Takim sposobem opisu, uniwersalnym i mającym bardzo szerokie możliwości dalszego przekształcania, jest włączenie wszystkich elementów w tzw. zastępczą sieć cieplną, wykorzystującą analogię termoelektryczną do tworzenia schematów elektrycznych obiektów wchodzących w skład systemu [Chochowski 2001; Wójcicka-Migasiuk 2001].



Źródło: materiały własne autorów, Alfa-Laval 2003

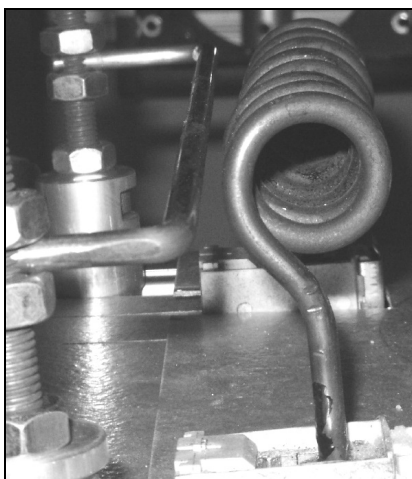
Rys. 1. Wymiennik płytowy: a) Element systemu w Budach Grabskich, b) zasada przepływu
 Fig. 1. A heat exchanger a) An element of the system in Budy Grabskie. b) The flow principle

Analogia termoelektryczna wykorzystuje podobieństwa zachodzące pomiędzy parametrami zjawisk elektrycznych i cieplnych (na przykład napięciu odpowiada różnica temperatur, natężeniu prądu – strumień cieplny, odpowiednim oporom i pojemnościom – opory i pojemności cieplne) [Hering 1980]. Jeśli kolejne elementy systemu zostaną opisane przez odpowiadające im schematy elektryczne, cały system zasilania uzyska spójną postać, do-

godną do analiz i symulacji. Schemat zastępczy kolektorów już jest gotowy [Chochowski 1991], trwają prace nad opracowaniem schematów pozostałych składników systemu. Jednym z nich jest wymiennik gruntowy, jeszcze innymi płytowe wymienniki ciepła (rys. 1a). Płytowe wymienniki ciepła i ich dynamika stanowiły przedmiot szczegółowych badań, których wyniki zaprezentowano np. w pracy [Piotrowska, Chochowski 2011]; zostaną także przedstawione w tym opracowaniu.

Wymienniki ciepła i ich odpowiedniki w analogii termoelektrycznej

Zasadą działania wymiennika ciepła jest wymiana ciepła między dwoma czynnikami, przebiegająca bez mieszania się mediów (rys. 1b). Zachodzi tu podobieństwo z zasadą działania transformatora, w którym następuje przekazanie energii pola elektromagnetycznego z jednego obwodu do drugiego (najczęściej ze zmianą parametrów) bez ich wzajemnego kontaktu. Badanie dynamiki takiego obiektu wymaga szczegółowej analizy, dlatego w trakcie prac, ze względu na niejednoznaczności uzyskiwanych wyników i interpretację odbiegającą od dotychczasowych, podjęto decyzję o przeprowadzeniu badań laboratoryjnych elementów modelowych. Ze względu na zasadę działania wymiennika ciepła przyjęto do badań układ modelowy wymieniający ciepło między dwoma elementami (aktywnym i biernym) poprzez medium, którym było w tym przypadku powietrze. Przyjęto różne kształty i parametry nagrzewania elementów, z których jeden (aktywny) odpowiada stronie pierwotnej transformatora (temperaturze górnej wymiennika), zaś drugi (bierny) odpowiada stronie wtórnej transformatora (temperaturze dolnej wymiennika). Szczegółowy opis badanych elementów i stanowisk pomiarowych znajduje się w pracy [Chochowski, Piotrowska 2005].



Rys. 2. Elementy modelowe: spirala i pręt z miedzi
Fig. 2. Model elements: a copper spiral and a bar

Źródło: materiały własne

Na potrzeby obecnego opracowania istotne jest określenie celu prowadzonych badań. Stosowane elementy wykonane z miedzi i kanthalu miały za zadanie umożliwić szczegółowe określenie dynamiki wymiany ciepła w urządzeniu modelowo odpowiadającym

wymiennikowi ciepła. Podstawowym elementem aktywnym był prosty pręt lub spirala, w otoczeniu której umieszczano elementy biernie (pręty wewnątrz, nad lub z boku oraz spiralę nawiniętą równolegle, jak gwint 2-krotny). Następnie na podstawie uzyskanych przebiegów temperatury wykonywano identyfikację parametryczną badanego układu. Jej wyniki, opisane częściowo w pracy [Piotrowska, Chochowski 2011], wskazały na dużą niejednorodność uzyskiwanych rezultatów i skomplikowaną istotę badanych zjawisk. Wykazywały one albo charakter inercyjny, albo czasami oscylacyjny. Natomiast do badań filmowych zastosowano spiralę miedzianą z umieszczonym obok niej prętem (rys. 2).

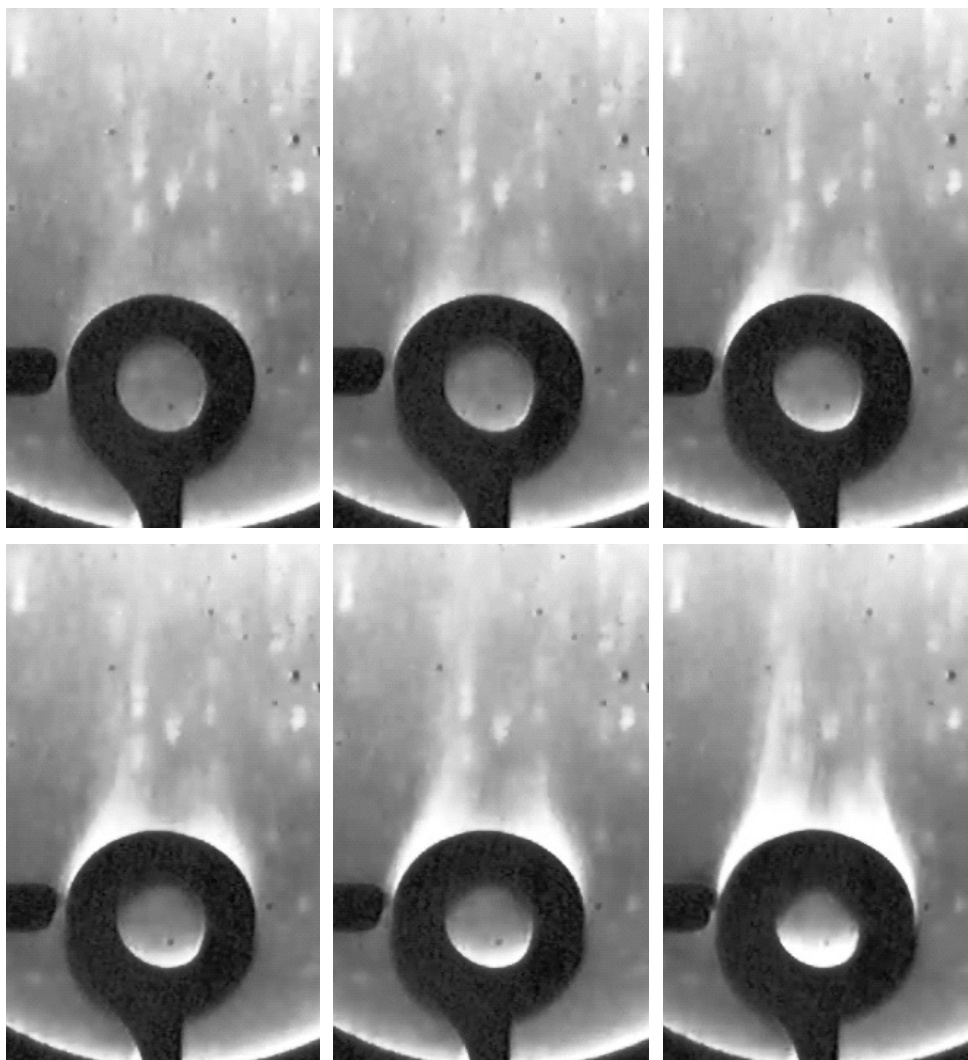
Wyniki badań i dyskusja

Badania pomiarów temperatury umożliwiły próbę opisu dynamiki badanego systemu, przedstawioną w pracach [Piotrowska, Bodurkiewicz 2010; Piotrowska, Chochowski 2011]. Natomiast badania filmowe były prowadzone z wykorzystaniem smugoskopu, opisanego w pracy [Piotrowska 2008]. Pomiary temperatury dają możliwość określania przebiegu temperatur w wybranych punktach (na powierzchni badanych elementów oraz w medium przekazującym ciepło, którym było powietrze). Natomiast badania prowadzone z wykorzystaniem smugoskopu umożliwiają zaobserwowanie zmiany całego pola temperatur wokół badanych elementów.

Zasada działania smugoskopu opiera się na obserwacji zmiany przepuszczalności promieni świetlnych przez ośrodek o zmieniającej się gęstości. System zwierciadeł formuje silną wiązkę światła o promieniach równoległych i przepuszcza ją przez badany obszar, a następnie rejestruje w kamerze. Obszary o większej gęstości (w przypadku nagrzewania o niższej temperaturze) przepuszczają mniej promieni niż obszary o niższej gęstości (o wyższej temperaturze). Dlatego rejestrowany obraz pokazuje coraz jaśniejsze barwy w miarę wzrostu temperatury. Smugoskop daje możliwość zbadania temperatury medium pośredniczącego w wymianie ciepła (w tym wypadku powietrza), co jest niemożliwe np. w przypadku kamery termowizyjnej, która narastającą intensywnością kolorów sygnalizuje rosnącą temperaturę powierzchni badanych obiektów, a nie medium między nimi. Istnieją również inne, bardziej zaawansowane techniki, opisane w pracy [Hobler 1986], dające nawet możliwość obserwowania izoterm temperatur.

Eksperymenty przeprowadzone w smugoskopie umożliwiły wykonanie filmu, obrazującego przebieg nagrzewania modelowych elementów. Z filmu można następnie wybrać szereg klatek i przedstawić ten przebieg na kolejnych obrazach (rys. 3). Ze względu na dużą wrażliwość układu na dodatkowe, zewnętrzne ruchy powietrza, koniecznym okazało się umieszczenie badanego elementu w prostopadłościennym osłonie, mającej tylko otwory (przesłonięte szkłem kwarcowym) na drodze wiązki światła oraz otwór górny i dolny.

Analiza przeprowadzonych eksperymentów wskazuje na kilka mechanizmów. Intensywność konwekcyjnej wymiany ciepła w środkowej części spirali powoduje, że powietrze jest tam mniej nagrzane niż z obu boków, nad którymi konwekcyjny ruch powietrza nie jest tak intensywny. Ponadto w czasie nagrzewania można zaobserwować utrzymującą się cały czas stosunkowo niską temperaturę wewnątrz nagrzewanej spirali. Jest to również związane z intensywnością konwekcji, która ochładza wnętrze spirali, ogrzewane jedynie dolną jej częścią. Na ostatnim z zaprezentowanych ujęć widać również przejmowanie ciepła przez element bierny (pręt).



Źródło: materiały własne

Rys. 3. Przebieg nagrzewania rezystancyjnego spirali miedzianej na podstawie wybranych obrazów uzyskanych w smugoskopie

Fig. 3. The course of copper spiral resistance heating based on the streak camera shots

Pole temperatur po zewnętrznej stronie spirali zakrzywia się w stronę elementu biernego i zaczyna jakby się na niego nasuwać. Świadczyć to może o wzajemnie odpowiadającym sobie oddziaływaniom obu tych elementów na siebie: aktywnego i pasywnego. Nie

tylko element aktywny oddaje swoją energię kinetyczną elementowi pasywnemu, zwiększając tym samym jego energię potencjalną, ale i element pasywny ze swojej strony oddaje część zgromadzonej energii potencjalnej, wpływając wtórnie na zwiększenie energii kinetycznej elementu aktywnego. To wzajemne przekazywanie sobie energii (oczywiście silnie tłumione) odpowiada oscylacjom, jakie występują w czasie drgań układów mechanicznych (jak sprężyna) lub w obwodach elektrycznych (jakie mają miejsce między kondensatorem i cewką). Badania numeryczne dynamiki elementów, prowadzone z wykorzystaniem pakietu MATLAB, potwierdziły występowanie tego rodzaju oscylacji.

Wnioski

Zaprezentowane eksperymenty z wykorzystaniem wizualizacji procesu wymiany ciepła dla elementów modelowych wraz z eksperymentami polegającymi na pomiarach temperatur na powierzchni badanych elementów i następnie ich identyfikacji parametrycznej mogą one prowadzić do wniosków, że przy interpretacji wymiennika ciepła jako czwórnika elektrycznego w analogii termoelektrycznej należałoby w jego schemacie elektrycznym uwzględnić, oprócz pojemności, istnienie indukcyjności. Odpowiadałoby to zaobserwowanym zjawiskom wzajemnego przekazywania sobie energii potencjalnej i kinetycznej.

Bibliografia

- Alfa-Laval.** (2003): Katalog produktów dla ciepłownictwa i chłodnictwa. Płytkowe wymienniki uszczelkowe. Instrukcja obsługi, Warszawa.
- Chochowski A.** (1991): Analiza stanów termicznych płaskiego kolektora słonecznego. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, ISBN 83-00-02700-9.
- Chochowski A.** (2001): Metoda analizy zintegrowanych systemów zasilania energią ze źródeł odnawialnych. Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, Elektryka, Z.116, 93-102.
- Chochowski A., Piotrowska E.** (2005): Technika pomiarów temperatury procesów szybkozmiennych. Inżynieria Rolnicza, 10 (70), 41-47.
- Hering M.** (1980): Termokinetyka dla elektryków. WNT, Warszawa, 148-159.
- Hobler T.** (1986): Ruch ciepła i wymienniki. WNT, Warszawa, 242-246.
- Piotrowska E.** (2008): Analiza przebiegu nagrzewania rezystancyjnego spirali z wykorzystaniem technik filmowych. Inżynieria Rolnicza, 11 (109), 213-217.
- Piotrowska E., Bodurkiewicz Ł.** (2010): Analysis of the resistance heating course and evaluation the correctness of the mathematical model matching. Przegląd Elektrotechniczny, 7(86), 351-353.
- Piotrowska E., Chochowski A.** (2011): Analiza modeli opisujących przebieg nagrzewania rezystancyjnego wybranych elementów. Przegląd Elektrotechniczny, 10(87), 318-320.
- Wójcicka-Migasiuk D.** (2001): Zastosowanie metody potencjałów węzłowych do analizy i projektowania instalacji słonecznych ciepłej wody. Acta Agrophysica, 39, ISBN 83-87385-50-6.

INVESTIGATION OF HEAT EXCHANGE DYNAMICS USING FILM TECHNIQUES

Abstract: In order to model hybrid network of the system supplied with renewable energy sources, a new scheme of a substitutive heating network, composed of electric circuit elements, similar at use to thermoelectric analogy, real elements, is formed. Works on creating a heat exchanger model are carried out. Experiments on elements which model a heat exchanger constitute a part of these works: an active element heats a passive element through a medium, that is air. In the described part of the works, a streak camera was used to investigate temperature fields which form around the researched elements and between them. Mutual transfer of energy between an active and a passive element as well as intense convective movement were reported. Therefore, as a consequence, a temperature field inside the heated spiral and over its centre was reported.

Key words: streak camera, heat exchange, heat exchanger, film technique

Adres do korespondencji:

Ewa Piotrowska: ewa_piotrowska@sggw.pl
Katedra Podstaw Inżynierii
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 164
02-787 Warszawa