

Dr inż. Janusz ZMYWACZYK
Dr inż. Piotr KONIORCZYK
Mgr inż. Jerzy JÓŹWIĄK
Zakład Napędów Lotniczych i Termodynamiki
Instytut Techniki Lotniczej
WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA

UKŁAD AKWIZYCJI I OPRACOWANIA DANYCH POMIAROWYCH STANOWISKA DO BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH PARAMETRÓW TERMOFIZYCZNYCH METODĄ ODWROTNĄ

W pracy przedstawiono układ badawczy do określania charakterystyk termicznych ciepła właściwego i przewodności cieplnej materiałów izolacyjnych metodą odwrotną. Sterowanie mocą grzejników cienkowarstwowych i rejestracja zmian czasowych temperatury odbywa się automatycznie za pomocą programu napisanego w środowisku HP VEE. Pomiar temperatury w kilku wybranych punktach stosu pomiarowego dokonuje się za pomocą termoelementów typu K

DATA ACQUISITION AND PROCESSING OF EXPERIMENTAL STAND FOR INVESTIGATION OF THERMOPHYSICAL PARAMETERS USING INVERSE METHOD

In this paper the data acquisition and processing system for determining the temperature-dependent specific heat and thermal conductivity is presented. In the inverse method the temperature is measured in several locations of the experimental setup by using the K-type thermocouples. The HP VEE software environment was used to write down a program controlling the temperature and heat flow rate from the thin-layer heaters.

1. WSTĘP

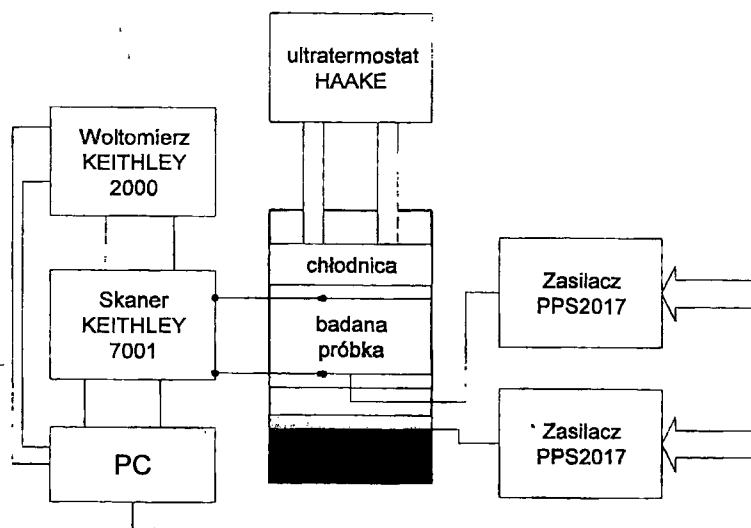
W 1998 roku odbyła się konferencja naukowo-techniczna ATOMATION '98 na której to został zaprezentowany artykuł zatytułowany „Układ akwizycji i opracowania danych pomiarowych stanowiska do pomiarów przewodności cieplnej materiałów izolacyjnych” [1]. Praca niniejsza stanowi kontynuację podjętej tam tematyki dotyczącej badań złożonej wymiany ciepła w materiałach izolacyjnych, z tym, że nacisk został obecnie położony na sterowanie mocą wyjściową grzejników cienkowarstwowych stanowiących wymuszenie termiczne układu badawczego oraz na rejestrację i obróbkę sygnałów pomiarowych w warunkach nieustalanej wymiany ciepła, generowanych przez termoelementy płaszczowe typu K. Zarejestrowane w funkcji czasu odpowiedzi termiczne układu pomiarowego w kilku wybranych jego punktach wraz z informacją o dostarczonej mocy cieplnej do układu stanowią dane wejściowe do programu numerycznego realizującego metodę regularyzacji

iteracyjnej Alifanova [2] w odniesieniu do rozwiązania odwrotnego współczynnikowego zadania odwrotnego nieustalonego przewodnictwa cieplnego. Praca ta powstała w wyniku realizacji projektu naukowo-badawczego typu grant na temat „*Eksperymentalno-numeryczne wyznaczenie parametrów termofizycznych wybranych tworzyw sztucznych metodą odwrotną*”, nr 8T10B04114, sponsorowanego przez KBN.

Bardzo ważnym elementem tego stanowiska pomiarowego jest układ akwizycji i opracowania danych pomiarowych, który w głównej mierze sprowadza się do układu odczytu z wykorzystaniem termoelementów zmieniającej się w funkcji czasu temperatury w kilku punktach stosu pomiarowego, gromadzenie tych danych, ich matematyczne opracowanie w czasie pomiaru i ilustrację w formie wykresów. Pozostałe elementy układu akwizycji i opracowania danych pomiarowych stanowią dwa zasilacze prądu stałego o sterowanej mocy wyjściowej (maksymalnie 180 VA) firmy Meter International Corp. serii PPS 2017 z wbudowanym interfejsem GPIB, multimetr cyfrowy firmy KEITHLEY typu 2000 i skaner tejże firmy. Prezentowany układ odczytu temperatury i mocy cieplnej dostarczonej do układu jest oparty o nowoczesny pakiet oprogramowania wirtualnych przyrządów pomiarowych HP VEE firmy Hewlet Packard.

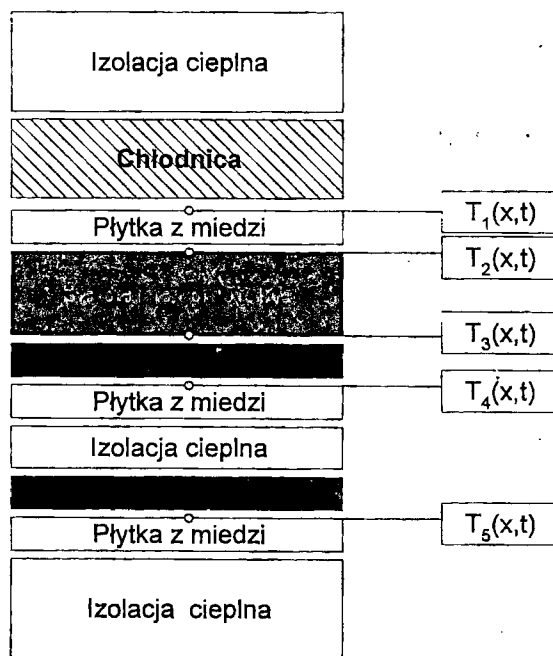
2. KRÓTKI OPIS UKŁADU POMIAROWEGO

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys.1. Do badań przewodności cieplnej i objętościowej pojemności cieplnej materiałów izolacyjnych w funkcji temperatury zastosowano koncepcję aparatu płytowego Poensgena [2]. Stos pomiarowy został schematycznie przedstawiony na rys.2. Zawiera on badaną próbkę w kształcie płaskiego dysku o średnicy 200 mm położoną na cienkowarstwowym grzejniku elektrycznym, wykonanym przez firmę OMEGA, o średnicy 198.8 mm i grubości 1 mm. Rezystancja grzejnika w temperaturze 22 °C wynosi 22.4 Ω. Maksymalna temperatura jego pracy nie powinna przekraczać 200 °C, ze względu na użyty Kapton jako podłoże dla naniesionej warstwy miedzi. Płyta chłodząca o wymiarach równych średnicy próbki zamyka stos pomiarowy.



Rys.1. Schemat stanowiska pomiarowego.

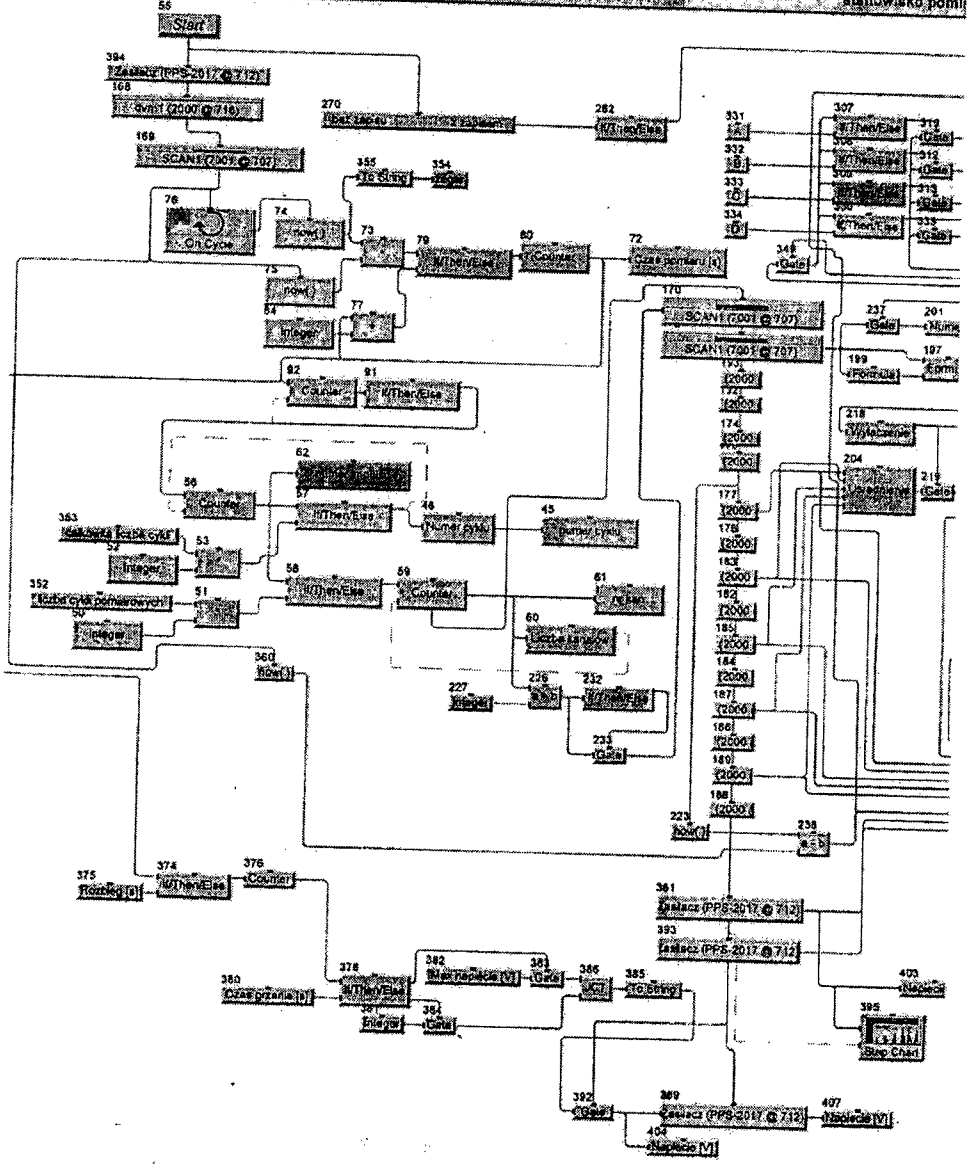
Ciepło wydzielane w grzejniku przepływa przez badaną próbkę prostopadłe do powierzchni styku z chłodnicą. Stała temperatura chłodnicy utrzymywana jest w trakcie eksperymentu dzięki cyrkulatorowi CF6 niemieckiej firmy HAAKE, który pozwala termostatować czynnik chłodzący w przedziale temperatury od $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ z dokładnością do $\pm 0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ i wymuszać jego obieg. Cyrkulator ten posiada wbudowany interfejs RS 232C. Pomiary odbywają się w warunkach nieustalanej wymiany ciepła. Temperatura mierzona jest termoelementami płaszczoowymi typu K (chromel-alumel) o średnicy płaszcza 0.5 mm . Termoelementy płaszczoowe są umieszczone w rowkach, wyciętych na obu powierzchniach czołowych badanej próbki, a spoiny pomiarowe znajdują się w jej osi symetrii. Pomiaru temperatury dokonuje się także w punktach znajdujących się w osi symetrii płyt przekładkowych wykonanych z miedzi, oddzielających próbkę od grzejnika oraz od chłodnicy.



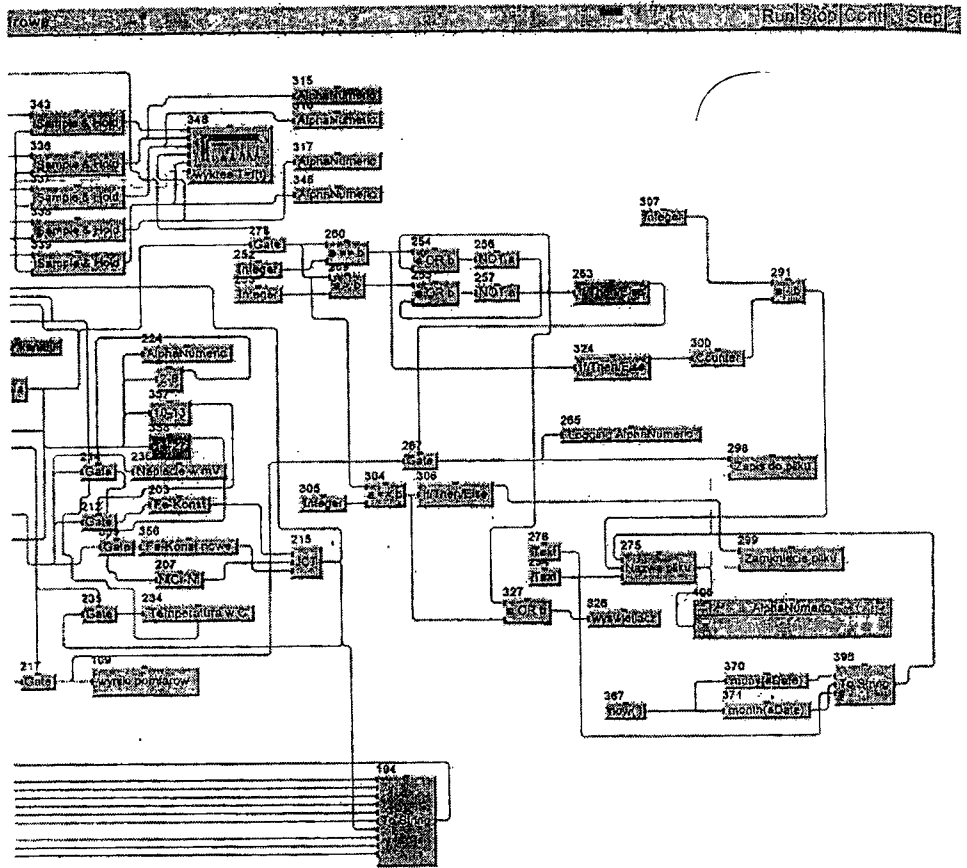
Rys.2. Schemat stosu pomiarowego

3. OPIS UKŁADU ODCZYTU TEMPERATURY

Prezentowany układ akwizycji i opracowania danych pomiarowych zawiera skaner firmy Keithley (80 Ch. Switching System Mainframe, model 7001) z kartą termoparową firmy Keithley (Thermocouple Card, model 7014) i płytą umożliwiającą montaż karty termoparowej, również firmy Keithley (Screw Term Conn. Board F. 7014, model 7014-ST) do odczytu napięć z 40 termoelementów oraz woltomierz cyfrowy Keithley 2000. Skaner umożliwia



Rys.3a. Schemat programu realizującego koncepcję wirtualnych przyrządów pomiarowych.



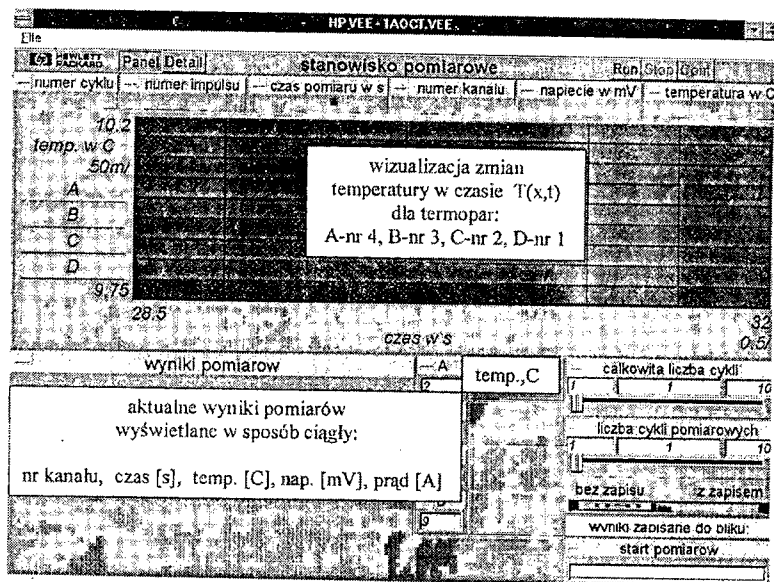
[10]

Rys. 3b. Ciąg dalszy schematu programu realizującego koncepcję wirtualnych przyrządów pomiarowych.

współpracę z dwiema takimi kartami termoparowymi i odczyt napięć z maksymalnej ilości $n=80$ termoelementów. Korzystając z pakietu oprogramowania wirtualnych

przrzędów pomiarowych HP VEE firmy Hewlet Packard oraz karty HP-IB Interface Card HP 82345 tej samej firmy, opracowano program obsługi stanowiska pomiarowego, który w całości przedstawia rys 3a i 3b. W czasie pracy stanowiska pomiarowego na ekranie komputera widoczny jest przedstawiony na rys. 4 panel sterowania, czyli zespół wirtualnych przrzędów pomiarowych mierzących, np. numer cyklu pomiarowego, czas pomiaru, numer kanału pomiarowego, moc grzejników cienkowarstwowych realizujących zadany przez użytkownika program. Oprócz tego istnieje możliwość ustawiania, czy też zmiany w trakcie pomiaru np. ilości cykli pomiarowych. Również na ekranie komputera możemy śledzić zmiany mierzonych wielkości w funkcji czasu, np. temperatury w funkcji czasu w kilku punktach stosu pomiarowego. W tym miejscu należy zaznaczyć, że w zagadnieniach odwrotnych dokładność danych wejściowych ma zasadniczy wpływ na uzyskiwane rozwiązanie. Dlatego też dokładność mierzonych temperatur oraz gęstości strumienia ciepła rzeczywiście docierającego do powierzchni czołowej badanej próbki powinna być jak największa. Stąd w stosie pomiarowym znajduje się drugi grzejnik cienkowarstwowy, który ma rekompensować straty ciepła pochodzące od grzejnika bezpośrednio przylegającego do badanej próbki.

Kopię ekranu monitora komputera w czasie pracy stanowiska pomiarowego pokazano na rys.4. W największym oknie ekranu obserwujemy zależności temperatury w funkcji czasu dla wybranych termoelementów o nr: 1, 2, 3 i 4. Dodatkowo aktualne wartości temperatury dla tych termoelementów są wyświetlane w oknach oznaczonych literami: A, B, C i D.



Rys.4. Widok ekranu monitora (z objaśnieniami).

Na zakończenie opisu możliwości programu należy zaznaczyć, że w zależności od położenia przełącznika z napisem „bez zapisu” lub „z zapisem” (rys.4) możemy wszystkie wartości wyświetlane w oknie z napisem „wyniki pomiarów” zapisywać do kolejnych zbiorów. Na wyposażeniu pakietu HP VEE znajduje się również firmowy program obróbki tych zbiorów.

Obok rysowania różnych zależności w oparciu o dane ze zbiorów, można otrzymane krzywe opracowywać matematycznie, tzn. np. całkować bądź różniczkować. Można również zadany przedział czasu rozszerzyć na cały wykres, by szczegółowo zanalizować, jak w tym czasie dana wielkość ulegała zmianie.

Karta termoparowa firmy Keithley (Thermocouple Card, model 7014) zawiera 40 szt. przekaźników kontaktronowych przeznaczonych specjalnie do pomiarów napięć termoelektrycznych. Dokładność pomiaru napięć termoelektrycznych w całym zakresie pracy stanowiska pomiarowego do badania przewodności cieplnej materiałów izolacyjnych jest praktycznie ograniczona jedynie dokładnością woltomierza Keithley 2000. Zaletą omawianego układu jest utrzymywanie stałego w czasie napięcia odniesienia, tzw. temperatury zimnych końców na karcie termoparowej na wejściu nr 1 (Thermocouple Card, model 7014). Niestety w tym przypadku możemy podłączyć zamiast 40 termoelementów tylko 39. Czas nagrzewania się skanera wynosi w tym przypadku około 20 minut. Na koniec należy poruszyć jeszcze jeden istotny problem, który wiąże się z wykorzystaniem w badaniach eksperymentalnych aparatury renomowanych firm. Zapewnienie publikowalności uzyskanych wyników badań w czasopiśmie zachodnich często napotyka z tego powodu na duże kłopoty. Posługiwanie się nieznanymi dla recenzentów przyrządami badawczymi znacznie utrudnia ocenę dokładności pomiarów i dyskusję nad poprawnością przeprowadzenia eksperymentu.

4. ZAKOŃCZENIE

W ostatnich latach nastąpił rozwój techniki eksperymentalnej opartej o mikroprocesory, zaawansowany software i pojawiły się tzw. wirtualne przyrządy pomiarowe. Jest to kierunek nieodwracalny. Żądanie jednoczesnej znajomości coraz większej ilości parametrów w czasie trwania skomplikowanych eksperymentów, wysoka rozdzielczość mierzonych parametrów, sterowanie dużą ilością przełączników zakresów pracy różnych przyrządów oraz automatyzacja pomiarów prowadzi do umieszczenia zarówno odczytywanych parametrów, jak i przełączników na ekranie monitora jednego komputera. Obecnie wydaje się, że problemem nie jest ilość danych, ale słabość modeli matematycznych opisujących różne zjawiska fizyczne, które są w stanie wykorzystać tylko niewielką ilość tych danych.

Obecnie na rynku dostępne są różne techniki programowania wirtualnych przyrządów pomiarowych. W naszym zakładzie wykorzystujemy oprogramowanie Test Point firmy Keithley oraz LabWindows firmy National Instruments (USA). Prezentowane oprogramowanie wykorzystujące pakiet HPVEE firmy Hewlett Packard należy do najnowocześniejszych. Zaletą pakietu jest możliwość szybkich zmian wirtualnej konfiguracji stanowiska badawczego i stosunkowo proste dostosowanie go do nowych zadań. Bariera jest wysoki koszt oprogramowania i przyrządów pomiarowych, które mogą być sterowane przy pomocy tego pakietu.

Autorzy pragną raz jeszcze podziękować Komitetowi Badań Naukowych za finansowe wsparcie projektu naukowo-badawczego grant nr 8T10B04114.

LITERATURA

- [1] P.Koniorczyk, J.Zmywaczyk, J. Jóźwiak: *Układ akwizycji i opracowania danych pomiarowych stanowiska do pomiarów przewodności cieplnej materiałów izolacyjnych*. Materiały konferencyjne Konferencji Naukowo-Technicznej n.t. Automatyzacja – Nowości i Perspektywy AUTOMATION'98, Warszawa, 11-12 marca 1998, str.351-358.

- [2] O.M. Alifanov, E.A. Artyukhin, S.V. Rumyantsev: *Extreme Methods for Solving Ill-Posed Problems with Applications to Inverse Heat Transfer Problems*. Begell House, N.Y., 1995.
- [3] P.Koniorczyk, J.Zmywaczyk: *Comparative investigations of thermal conductivity of selected plastics using a steady - state and transient heat conduction method*, Journal of Technical Physics, 36,4,1995 Warsaw, Poland
- [4] *Scanner Keithley 7001, User's Manual*, Keithley Instruments, Inc, USA
- [5] *Model 2000 Multimetr User's Manual*, Keithley Instruments, 1994, USA
- [6] R.Helsel: *A tutorial for HP VEE*, Hewlett-Packard Professional Books, USA
- [7] *Exploring HP VEE*, Hewlett-Packard Professional Books, USA
- [8] *Building an Operator, Interface with HP VEE*, Hewlett-Packard Professional Books, USA
- [9] *Getting Started with HP VEE*, Hewlett-Packard Professional Books, USA
- [10] *HP VEE Advanced Programming Techniques*, Hewlett-Packard Professional Books, USA
- [11] *HP VEE Reference*, Hewlett-Packard Professional Books, USA
- [12] PPS Series Linear Programmable Power Supply, User's Manual, Meter International Corp.