

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

UKŁAD AKWIZYCJI I OPRACOWANIA DANYCH POMIAROWYCH STANOWISKA DO POMIARÓW PRZEWODNOŚCI CIEPLNEJ MATERIAŁÓW IZOLACYJNYCH

W pracy przedstawiono układ odczytu z wykorzystaniem termoelementów wolno zmieniającej się w czasie temperatury w kilkudziesięciu punktach stosu pomiarowego stanowiska do pomiarów przewodności cieplnej materiałów izolacyjnych, gromadzenie tych danych, ich matematyczne opracowanie i ilustrację w formie wykresów

DATA ACQUISITION AND PROCESSING OF EXPERIMENTAL STAND FOR INVESTIGATION OF THERMAL CONDUCTIVITY OF INSULATING MATERIALS

In this paper the data acquisition and processing system for several dozen slow-changing with time temperatures of the measuring pile of experimental stand for investigation of thermal conductivity of insulating materials is presented.

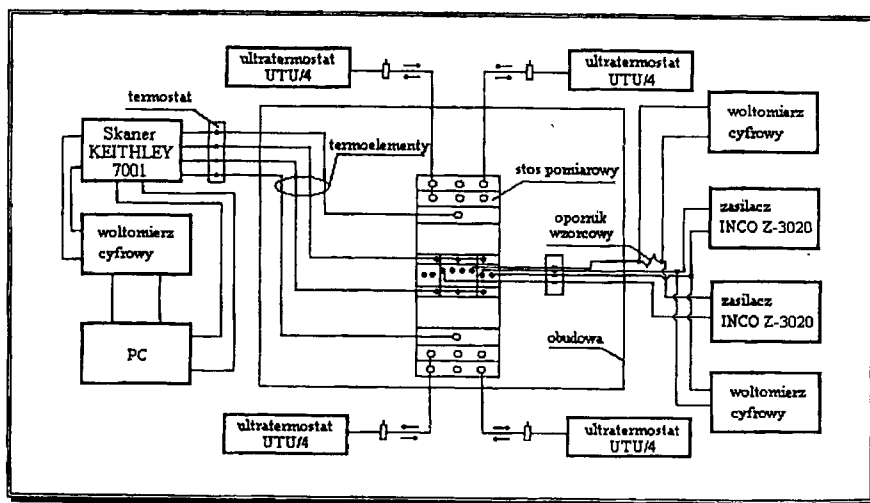
1. WSTĘP

W 1987r. na zlecenie Polskiego Komitetu Normalizacji Miar i Jakości opracowano w ówczesnym Zakładzie Termodynamiki założenia konstrukcyjne do wykonania w warunkach krajowych stanowiska do badań wymiany ciepła w materiałach izolacyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem pomiarów przewodności cieplnej tych materiałów metodą ochronnej płyty cieplnej [1]. W tym też roku podjęto budowę takiego stanowiska badawczego w naszym zakładzie. Pod koniec lat osiemdziesiątych staliśmy się jedynym w kraju ośrodkiem, który wykonywał i wykonuje do dnia dzisiejszego badania wszechstronnie rozumianej wymiany ciepła oraz przewodności cieplnej materiałów izolacyjnych w szerokim zakresie temperatury, tzn. od (-40 °C) do 700 °C, w powietrzu i w próżni dla próbek w kształcie dysków o średnicy 200 mm i grubości od około 0.5 mm do 100 mm. Obecnie należymy w kraju do ścisłej czołówki ośrodków badających przewodność cieplną materiałów izolacyjnych. Wyniki badań prezentujemy również na konferencjach międzynarodowych [2,3]. Nabyliśmy w tym

czasie dużego doświadczenia, badając przewodność cieplną w funkcji temperatury różnych materiałów, np. tworzyw sztucznych, weteł mineralnych, włókien ceramicznych, włókien szklanych, szkielek, pianek poliuretanowych oraz lotniczych konstrukcji przekładkowych [4,5]. 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 wolno zmieniającej się w funkcji czasu temperatury w kilkudziesięciu punktach stosu pomiarowego, gromadzenie tych danych, ich matematyczne opracowanie nawet w czasie pomiaru i ilustrację w formie wykresów. Pozostałe elementy układu akwizycji i opracowania danych pomiarowych stanowią dwa zasilacze prądu stałego i dwa woltomierze cyfrowe do odczytu napięć i prądów z zasilaczy. Prezentowany układ odczytu temperatury jest ostatnią wersją tego układu, opartą o nowoczesny pakiet oprogramowania wirtualnych przyrządów pomiarowych HP VEE firmy Hewlett Packard. Trzy wcześniejsze wersje, z których dwie warte są polecenia, pracowały równie ciężko, co obecna, tzn. przepracowały kilka tysięcy godzin i są dostępne w naszym zakładzie. Koszt ich zastosowania jest znacznie mniejszy i w wielu przypadkach mogą być z powodzeniem wykorzystane. Krótkie porównanie parametrów wcześniejszych układów będzie przedstawione w rozdziale 4 niniejszej pracy.

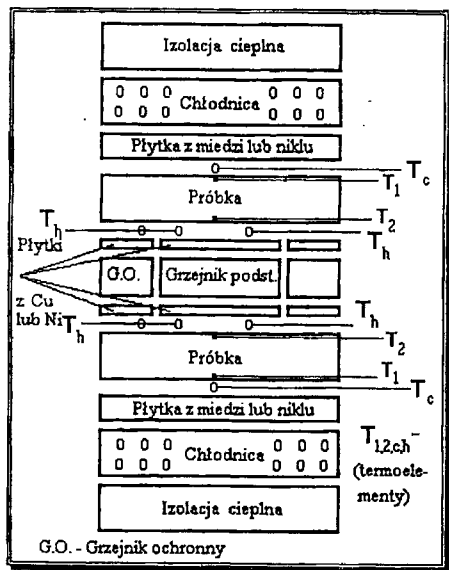
2. KRÓTKI OPIS UKŁADU POMIAROWEGO

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys.1. Do badań przewodności cieplnej materiałów izolacyjnych w funkcji temperatury zastosowano metodę ochronnej płyty cieplnej [1]. Stos pomiarowy może występować w dwóch wariantach, przedstawionych na rys.2 i 3. Przykładowo w wariantcie pokazanym na rys.2 zawiera dwie identyczne próbki pomiarowe w kształcie płaskich dysków o średnicy 200 mm ułożone symetrycznie po obu stronach płyty grzejnika elektrycznego. Dwie płyty chłodzące o wymiarach równych średnicy próbki zamykają stos pomiarowy. Grzejnik elektryczny nazywany podstawowym, o średnicy 100 mm, jest otoczony grzejnikiem elektrycznym ochronnym o średnicy równej średnicy próbek.

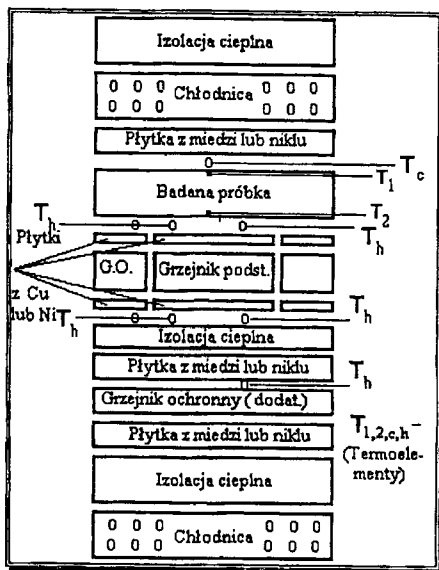


Rys.1. Schemat stanowiska pomiarowego.

Między grzejnikiem podstawowym i ochronnym znajduje się niewielka szczelina ułatwiająca pomiar i sterowanie temperaturą obydwu grzejników. Ciepło wydzielane w grzejnikach przepływa przez dwie próbki prostopadle do ich powierzchni styku z chłodnicami. Pomiar odbywają się w warunkach ustalonej wymiany ciepła. W czasie pomiarów temperatura grzejnika podstawowego jest równa temperaturze grzejnika ochronnego. Również temperatury chłodnic są jednakowe. Temperaturę mierzymy termoelementami płaszczowymi Fe-CuNi o średnicy płaszcza 0.5mm. Termoelementy płaszczowe są umieszczone w rowkach, wyciętych na powierzchniach pomiarowych miedzianych płyt. W czasie badań wymiany ciepła w materiałach izolacyjnych mierzymy rozkłady temperatury np. wzdłuż grubości próbek w kilkunastu punktach pomiarowych wewnątrz próbki. Wówczas wykorzystujemy termoelementy z różnych materiałów w formie drutów o różnych średnicach, np. 40 μm . [4].



Rys.2. Aparat płytowy z ochronną płytą cieplną

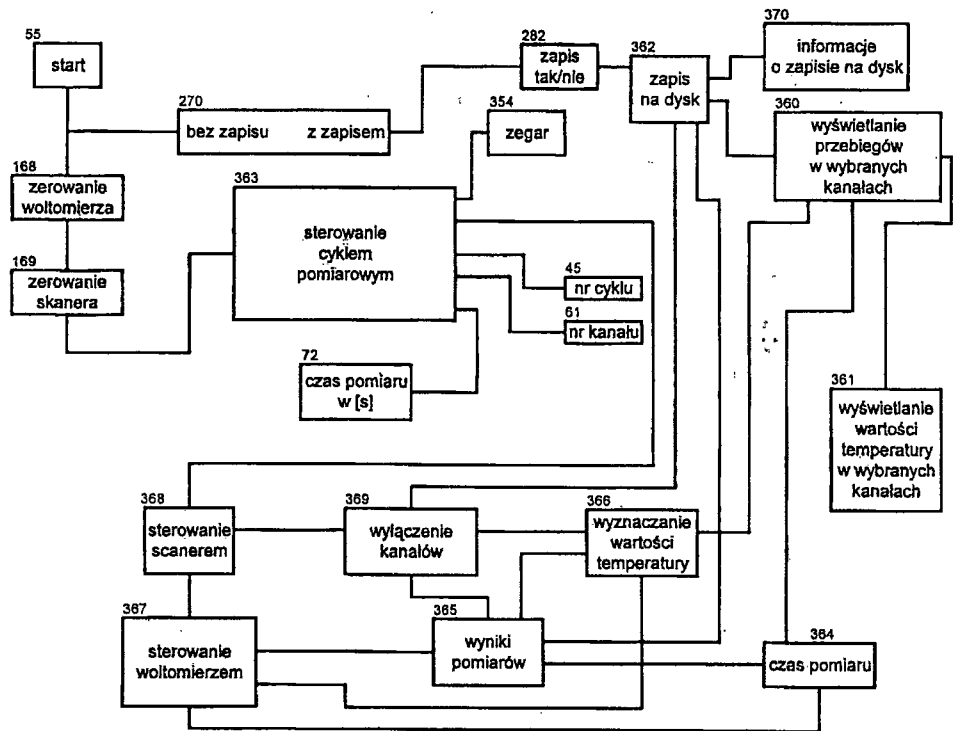


Rys.3. Aparat płytowy z podwójną ochroną cieplną

3. OPIS UKŁADU ODCZYTU TEMPERATURY

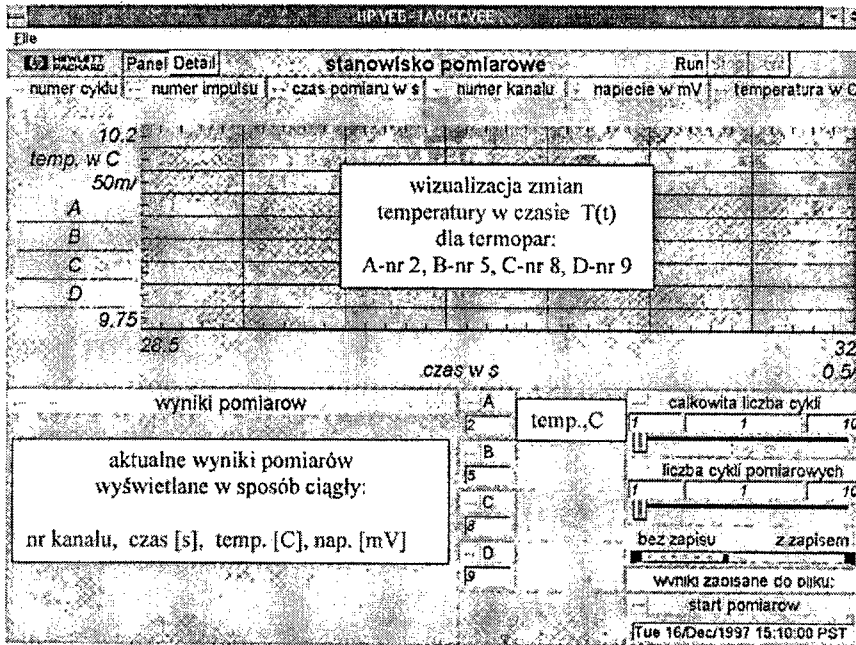
Prezentowany układ akwizycji i opracowania danych pomiarowych zawiera skaner firmy Keithley (80 Ch. Switching System Mainframe, model 7001) z kartą termoparową firmy Keithley (Thermocouple Card, model 7014) i płytą umożliwiającą montaż karty termoparowej, również firmy Keithley (Screw Term Conn. Board F. 7014, model 7014-ST) do odczytu napięć z 40 termoelementów oraz woltomierz cyfrowy Keithley 2000. Skaner umożliwia współpracę z dwiema takimi kartami termoparowymi i odczyt napięć z 80 termoelementów. Obecnie jesteśmy w posiadaniu tylko jednej karty termoparowej, a zatem możemy odczytywać temperaturę w 40 punktach stosu pomiarowego. Korzystając z pakietu oprogramowania wirtualnych przyrządów pomiarowych HP VEE firmy Hewlett Packard oraz karty HP-IB Interface Card HP 82345 tej samej firmy, opracowano program obsługi stanowiska pomiarowego [8-15]. Uproszczony dla potrzeb publikacji panel stanowiska pomiarowego pokazano na rys.4. Każdy blok panelu zawiera sieć połączeń elementów HP

VEE i jest automatycznie numerowany przez pakiet HP VEE. Dodatkowo można tworzyć własne bloki. Przykładowo blok nr 366 zawiera równania dla konkretnego typu termoelementów przekształcające odczytane napięcia termoelementów wyrażone w mV na temperaturę wyrażoną w $^{\circ}C$. Panel stanowiska pomiarowego w pełnej konfiguracji ze względu na swoje rozmiary będzie przedstawiony w czasie prezentacji niniejszej pracy na konferencji. W czasie pracy stanowiska pomiarowego na ekranie komputera widoczny jest przedstawiony na rys.5 tzw. detal, czyli zespół wyświetlaczy różnych wielkości mierzonych, np. numer cyklu pomiarowego, czas pomiaru czy numer kanału. Oprócz tego detal (rys.5) zawiera zespół przełączników, które możemy ustawiać, np. całkowitą liczbę cykli czy ilość cykli pomiarowych. Dodatkowo na ekranie komputera możemy śledzić zmiany mierzonych wielkości w funkcji czasu, np. temperatury w funkcji czasu w kilku punktach stosu pomiarowego. Ma to ogromne znaczenie przy ocenie czasu, jaki musimy przeznaczyć na pomiar przewodności cieplnej, by uzyskać warunki. ustalonej wymiany ciepła.

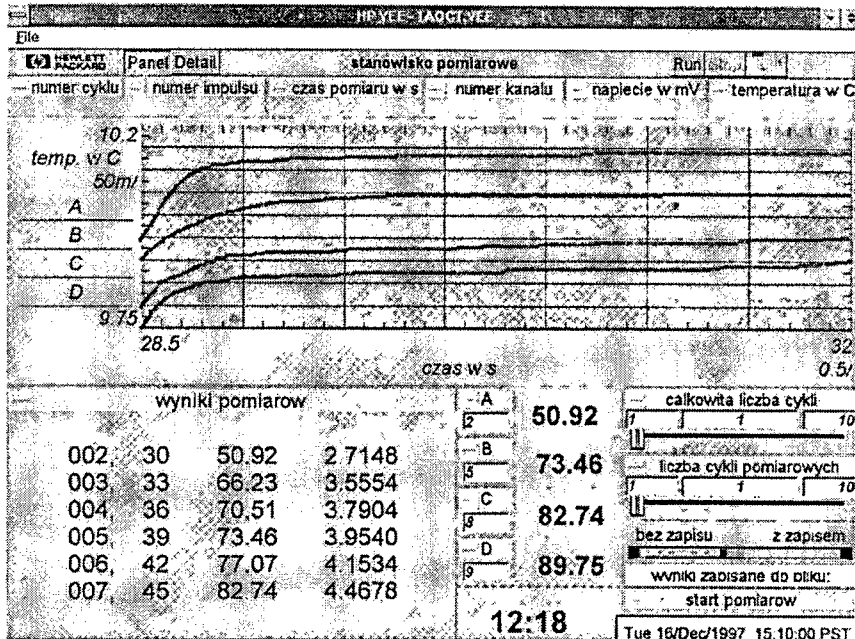


Rys.4. Panel stanowiska pomiarowego do badań przewodności cieplnej materiałów izolacyjnych.

Kopię ekranu monitora komputera w czasie pracy stanowiska pomiarowego pokazano na rys.6. W największym oknie ekranu obserwujemy zależności temperatury w funkcji czasu dla wybranych termoelementów o nr: 2, 5, 8 i 9. Dodatkowo aktualne wartości temperatury dla tych termoelementów są wyświetlane w oknach oznaczonych literami: A, B, C i D. W niniejszym rozdziale nie rozpatrujemy budowy skanera firmy Keithley, model 7001. Budowa skanera i tzw. hardware będą omówione w rozdziale 4.



Rys.5. Detal stanowiska pomiarowego do badania przewodności cieplnej.



Rys.6. Kopia ekranu w czasie pracy stanowiska pomiarowego.

Na zakończenie opisu możliwości programu należy zaznaczyć, że w zależności od położenia przełącznika z napisem „bez zapisu” lub „z zapisem” (rys.5 i 6) 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.

4. PORÓWNANIE RÓŻNYCH UKŁADÓW ODCZYTU TEMPERATURY

Pierwszy układ odczytu napięć z kilkunastu termoelementów w funkcji czasu uruchomiono na potrzeby stanowiska do badań przewodności cieplnej materiałów izolacyjnych w 1988r. Funkcje skanera pełnił wykonany w naszym zakładzie blok z kilkunastoma przekaźnikami kontaktronowymi połączony z komputerem ośmiobitowym Neptun 184 i kartą woltomierza cyfrowego BCD, wykonanymi w Pracowni Elektroniki Medycznej w Warszawie [6,7]. Układ umożliwiał odczyt napięć termoelektrycznych w dowolnej kolejności. Zawierał jednak istotny mankament: przekaźniki kontaktronowe wytwarzały własne napięcia termoelektryczne w funkcji temperatury własnych posrebrzanych złączy. W związku z tym blok z przekaźnikami kontaktronowymi próbowano termostatować. Próbowano również przekaźniki kontaktronowe łączyć w pary, aby sygnały termoelektryczne znosiły się wzajemnie. Wymagało to jednak budowy nowego bloku przekaźników i nowych testów. Po krótkim okresie użytkowania przekaźniki kontaktronowe wycofano z użycia. Wcześniej wykonano jeszcze próby ze stukrotnym wzmacnianiem sygnału z termoelementów wzmacniaczem o małym szumie. Ze względów technicznych pomysł zarzucono. Pierwszy w pełni udany układ odczytu napięć z kilkudziesięciu termoelementów uruchomiono w 1989 r. Funkcje skanera pełniło urządzenie produkcji niemieckiej firmy RFT S - 3201.00. Zawierało ono trzy bloki przekaźników elektromagnetycznych S - 3201.020, po 40 szt. w każdym bloku. Podobnie jak poprzednio korzystano z komputera Neptun 184 i karty BCD. Można było ustawić czas przełączenia i odczytywać praktycznie dowolną ilość termoelementów, ale w kolejności jeden po drugim. Wykonywano również niestacjonarne badania wymiany ciepła różnych materiałów, tzn. mierzono zależności temperatury w funkcji czasu w kilkunastu wybranych punktach stosu pomiarowego. Układ był w pełni odporny na wszelkie zakłócenia i bardzo niezawodny. Przepracował kilka tysięcy godzin ciągłej pracy. Mankamentem układu były kłopoty z gromadzeniem większej ilości danych, również często zawieszał się komputer. Modyfikacja układu polegała na zastąpieniu komputera ośmiobitowego komputerem najpierw PC XT, potem PC AT. Kartę BCD zastąpiono kartą do komputerów PC, również wykonaną w Pracowni Elektroniki Medycznej w Warszawie [6]. W takiej konfiguracji układ pracował do 1995r., ponieważ wtedy zakupiono skaner Keithley 7001. Ze względu na zbyt małą dokładność pomiaru temperatury w zakresie od 0 °C do 700 °C (0.5 °C. - zgodnie z danymi producenta) zrezygnowano z zakupionej wcześniej karty z przetwornikami analogowo cyfrowymi Keithley DAS - TC, o rozdzielczości - zgodnie z danymi producenta - lepszej niż 12 bitów.

Zapoznanie się z pakietem wirtualnych przyrządów pomiarowych HP VEE, napisanie programu obsługi stanowiska przedstawione na rys.4-6 oraz uruchomienie całego układu zajęło około pół roku. Do chwili obecnej układ przepracował niezawodnie około 2000 godzin i jest godny polecenia. Karta termoparowa firmy Keithley (Thermocouple Card, model 7014) zawiera 40 szt. przekaźników kontaktronowych przeznaczonych specjalnie do pomiarów napięć termoelektrycznych. Nie ma wad, jakie posiadał pierwszy zbudowany przez autorów

niniejszej pracy układ. 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. Postępowanie się nieznanymi dla recenzentów przyrządami badawczymi znacznie utrudnia ocenę dokładności pomiarów i dyskusję nad poprawnością przeprowadzenia eksperymentu.

5. 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, sterowanie dużą ilością przełączników zakresów pracy różnych przyrządów oraz automatyzacja pomiarów prowadzi do umieszczenia zarówno odczytywanych parametrów, jak i przełączników na ekranie 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 oprogramowania 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. Barięą jest wysoki koszt oprogramowania i przyrządów pomiarowych., które mogą być sterowane przy pomocy tego pakietu.

LITERATURA

- [1] P.Koniorczyk, J.Terpiłowski: *Opracowanie szczegółowych założeń konstrukcyjnych do wykonania w warunkach krajowych stanowiska do badań przewodności cieplne*. Opracowanie dla Domu Handlowego Nauki Polskiej, maszynopis 89 str., Warszawa 1987r.
- [2] P.Koniorczyk, J.Zmywaczyk: *An approximate heat transfer model and numerical analysis of steady-state thermal field in the block-polymerized polyamide 6*. 2nd Baltic Heat Transfer Conference, Riga 1995, Advances in Engineering Heat Transfer, Computational Mechanics Publications, Southampton Boston 1995r., t. II
- [3] P.Koniorczyk, J.Zmywaczyk: *Investigation of the coupled conductive - radiative heat transfer in plexiglass*, 6th International Symposium on Temperature and Thermal Measurement in Industry and Science TEMPMEKO'96, Torino, Italy, 1996, Proceedings of TEMPMEKO'96, International Measurement Confederation, Technical Committee 12

Temperature and Thermal Measurements, LEUROTTO & BELLA-TORINO, 1997,p.543-547.

[4] P.Koniorczyk: *Experimental research and analysis of coupled conductive -radiative heat transfer in block polymerized polyamide 6*. Journal of Technical Physics, 36,3,1995 Warsaw, Poland.

[5] 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

[6] *Interfejs BCD*, Pracownia Elektroniki Medycznej, maszynopis, Warszawa 1982

[7] *Uniwersalny, cyfrowy interfejs do komputerów kompatybilnych z IBM PC/XT/AT*, Pracownia Elektroniki Medycznej, maszynopis, Warszawa 1988

[8] *Scanner Keithley 7001, User's Manual*, Keithley Instruments, Inc, USA

[9] *Model 2000 Multimetr User's Manual*, Keithley Instruments, 1994, USA

[10] R.Helsel: *A tutorial for HP VEE*, Hewlett-Packard Professional Books, USA

[11] *Exploring HP VEE*, Hewlett-Packard Professional Books, USA

[12] *Building an Operator, Interface with HP VEE*, Hewlett-Packard Professional Books, USA

[13] *Getting Started with HP VEE*, Hewlett-Packard Professional Books, USA

[14] *HP VEE Advanced Programming Techniques*, Hewlett-Packard Professional Books, USA

[15] *HP VEE Reference*, Hewlett-Packard Professional Books, USA