

Słowa kluczowe:

*eksperyment, wirtualne laboratorium,
badanie tłumienia, nauczanie na odległość*

mgr inż. Paweł CHMIELARCZYK¹
dr hab. inż. Jerzy KALETA¹
dr inż. Wojciech MYSZKA¹

WIRTUALNE STEROWANIE UNIWERSALNĄ MASZYNĄ WYTRZYMAŁOŚCIOWĄ

Streszczenie: W pracy przedstawiono dotychczasowe doświadczenia Zakładu i Laboratorium Dynamiki Instytutu Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej Politechniki Wrocławskiej w zakresie możliwości udostępniania w sieci wyników prowadzonych eksperymentów z wykorzystaniem uniwersalnego pulsatora hydraulicznego i oprogramowania HP VEE.

1. Wirtualne laboratorium — state of the art

Pojęcie *wirtualne laboratorium* ukute zostało na podobieństwo innych, funkcjonujących już pojęć, jak na przykład *wirtualna rzeczywistość*. Nie jest jednak pomysłem zawieszonym w zupełnej próżni: w terminologii amerykańskiej używane jest pojęcie *collaboratory* powstałe jako zbitka dwu słów: *collaboration* i *laboratory* a odnoszące się do „... 'center without walls', in which the nations researchers can perform their research without regard to geographical location - interacting with colleagues, accessing instrumentation, sharing data and computational resources, and accessing information in digital libraries.” (cytat z [8] za [2]).

Co więcej, laboratoria takie są już w praktyce realizowane! I nie są to przedsięwzięcia o niewielkiej, lokalnej skali. Raczej wręcz przeciwnie.

Jednym z ciekawszych projektów, finansowanym między innymi przez Departament Energii USA był projekt pod tytułem „Distributed, Collaboratory Experiment Environments (DCEE) Program” [5].

Celem projektu było opracowania i przetestowanie narzędzi umożliwiających pracę grupową dużych zespołów ludzkich, wspólne wykorzystywanie unikatowych przyrządów badawczych z użyciem sieci komputerowej Internet.

W badaniach brały udział między innymi: Argonne National Laboratory, Lawrence Livermore National Laboratory, Princeton Plasma Physics Lab, Oak Ridge National Laboratory, General Atomics, Pacific Northwest National Laboratory, University of Wisconsin–Milwaukee, Lawrence Berkeley National Laboratory, UC Santa Barbara. Opracowano oprogramowanie umożliwiające między innymi: system zapewniający zdalny dostęp do mikroskopu elektronowego czy oprogramowanie pozwalające na wirtualne uczestnictwo w sterowaniu systemem Tokamak. Oprogramowanie zapewniało bardzo łatwą wymianę danych pomiędzy uczestnikami eksperymentów oraz wspólne opracowywanie wyników eksperymentu.

¹ Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej Politechniki Wrocławskiej, ul. Smoluchowskiego 25, Wrocław

Duży nacisk kładziono na aspekty socjologiczne zdalnej współpracy. Okazało się, że jednym z ważniejszych problemów, które należy brać pod uwagę są nowe warunki w jakich współpracują badacze: bez codziennego kontaktu osobistego. Dlatego też bardzo ważnym aspektem zdalnej współpracy jest dostarczenie możliwości okresowych spotkań większych i mniejszych grup badaczy w „wirtualnych salach konferencyjnych”. Realizowane jest to za pomocą programów pozwalających na używanie „wirtualnej tablicy” (takiego obszaru roboczego ekranu komputera, na którym każdy z uczestników może pisać i rysować) oraz transmisję dźwięku i obrazu przez sieć komputerową (organizację wideokonferencji).

Oczywiście równocześnie z trwającym eksperymentem przekazywany być może obraz obiektu poddawanego badaniom.

Wśród zdeklarowanych zwolenników komputeryzacji pojawia się zatem idea: zbudujmy „wirtualne laboratorium” czyli takie, rozproszone środowisko, które pozwalać będzie na bardzo łatwą wymianę idei, danych oraz — w pewnych przypadkach — na zdalne prowadzenie eksperymentu lub tylko zdalne w nim uczestnictwo.

Pierwszą przymiarką do takiego zadania jest opracowywany właśnie system sterowania maszyną zmęczeniową MTS.

2. Wirtualne stanowisko badawcze; założenia

Zasadność stworzenia wirtualnego stanowiska do badania tłumienia w Laboratorium Dynamiki wynika z następujących przesłanek, a mianowicie:

- Laboratorium Dynamiki realizuje wieloletnie programy badawcze z partnerami krajowymi w ramach np. grantów KBN oraz prowadzi badania z partnerami zagranicznymi w ramach programów bilateralnych (RFN, Ukraina). Wymienione dalej eksperymenty z zakresu szeroko rozumianego tłumienia są kosztowne, trudne technicznie a przez to często unikalne. Zasadne staje się zatem stworzenie partnerom naukowym możliwości udziału w testach na zasadzie *on-line*. Zakłada się ponadto, iż tendencja do wielozespołowego prowadzenia eksperymentów „na odległość” będzie się pogłębiać.
- Zasadność budowy stanowiska wirtualnego łatwo też uargumentować dydaktycznie. Celowe staje się bowiem wzbogacanie zajęć laboratoryjnych np. z wytrzymałości materiałów, przykładami pochodzącymi z aktualnie prowadzonych prac badawczych.

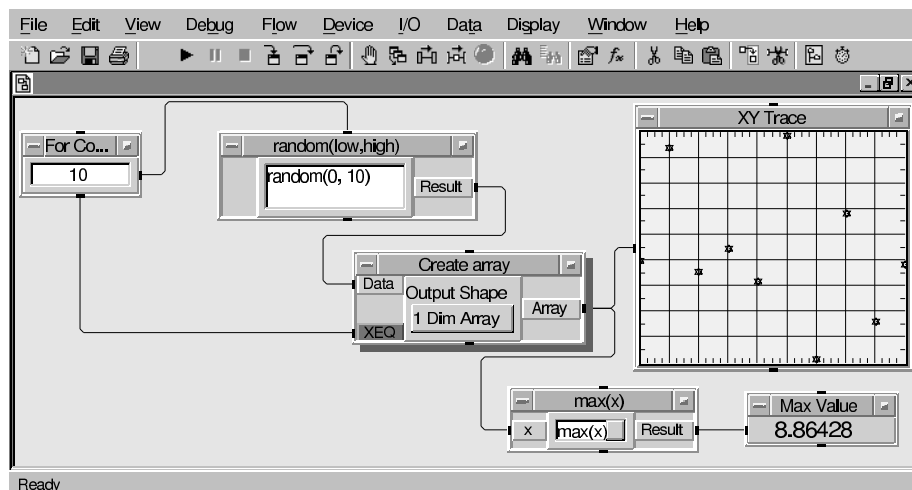
Z drugiej strony takie cechy eksperymentu naukowego jak koszt czy unikalność uniemożliwiają jego wielokrotne powtarzanie. Względy bezpieczeństwa ograniczają także liczebność grup studenckich w przypadku zajęć laboratoryjnych. Celowe jest ponadto wprowadzanie nowych (pilotowych) form dydaktycznych w odniesieniu do przypadku zajęć laboratoryjnych, by dało się je w przyszłości masowo wykorzystać, po wdrożeniu masowego kształcenia uniwersyteckiego na odległość (tzw. *Long-Distance Learning*).

W obu przypadkach założono, że współpracownicy oraz studenci będą mieli możliwość śledzenia przebiegu realizowanego eksperymentu za pomocą zwykłej przeglądarki WWW. W szczególnych przypadkach będzie istniała możliwość odczytu danych pomiarowych i wyników obliczeń w trakcie trwania eksperymentu.

3. Użyte oprogramowanie

Do oprogramowania systemu wykorzystano pakiet HP VEE [3]. Jest to nowoczesny język programowania graficznego optymalizowany do tworzenia aplikacji wykorzystywanych podczas pomiarów i testów. Innym, zbliżonym systemem oprogramowania jest LabView firmy National Instruments.

W procesie programowania graficznego użytkownik zamiast wypisywać skomplikowane polecenia używanego języka programowania dokonuje na specjalnym panelu za pomocą myszy połączeń pomiędzy ikonami obrazującymi elementarne bloki funkcjonalne języka HP VEE.



Rysunek 1. Przykładowy program HP VEE do generacji liczb losowych

System HP VEE dostępny jest na komputery pracujące pod kontrolą systemów Windows 9x/NT, HP-UX (wcześniejsze wersje mogły współpracować z systemami Sun Solaris i Windows 3.1). Obsługuje urządzenia pomiarowe podłączone do komputerów za pomocą interfejsów GPIB, VXI, szeregowego; pozwala na wykorzystanie różnych kart pomiarowych wkładanych do komputerów PC oraz instrumentów podłączonych z wykorzystaniem sieci LAN.

W systemie Windows oprogramowanie wykorzystuje wszystkie funkcje komunikacji z innymi aplikacjami za pomocą ActiveX. Przygotowywana kolejna wersja ma być wyposażona w możliwość współpracy z systemem MATLAB Script (Laboratorium Dynamiki ma dostęp do wersji testowej tego oprogramowania). MATLAB Script to pewien podzbiór systemu MATLAB pozwalający na użycie wszystkich elementów języka MATLAB, ale bez możliwości pisania samodzielnych aplikacji czy intrykcyjnego dokonywania obliczeń.

Jedną z ciekawszych właściwości programu HP VEE jest wbudowany w system serwer WWW. Pozwala to na bieżące nadzorowanie pracy aplikacji. Nie daje jednak żadnej możliwości wpływania na funkcjonowanie programu.

Aby trochę przybliżyć sposób programowania w systemie HP VEE na poniższym rysunku przedstawiono bardzo prosty program generujący 10 liczb losowych i zapisujący je w tablicy, prezentujący na wykresie oraz liczący wartość maksymalną wygenerowanych liczb.

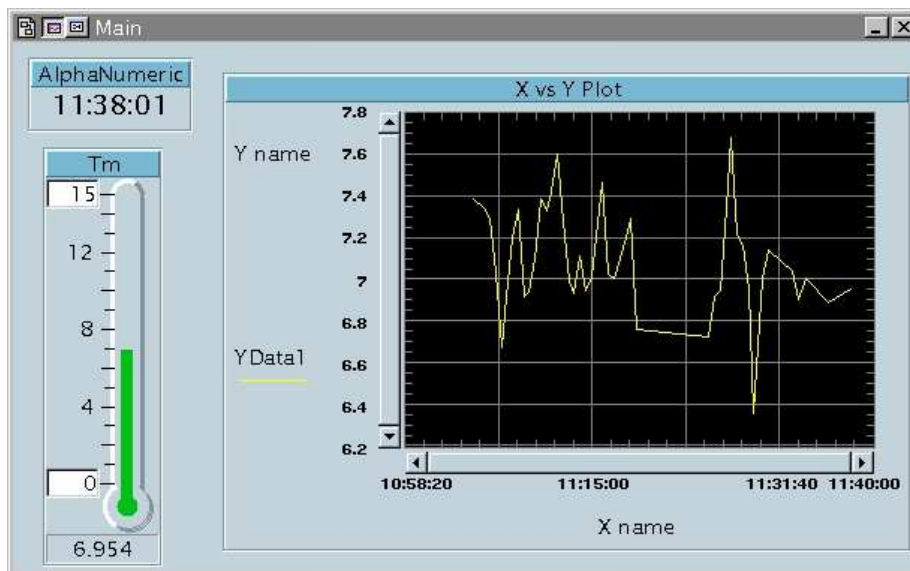
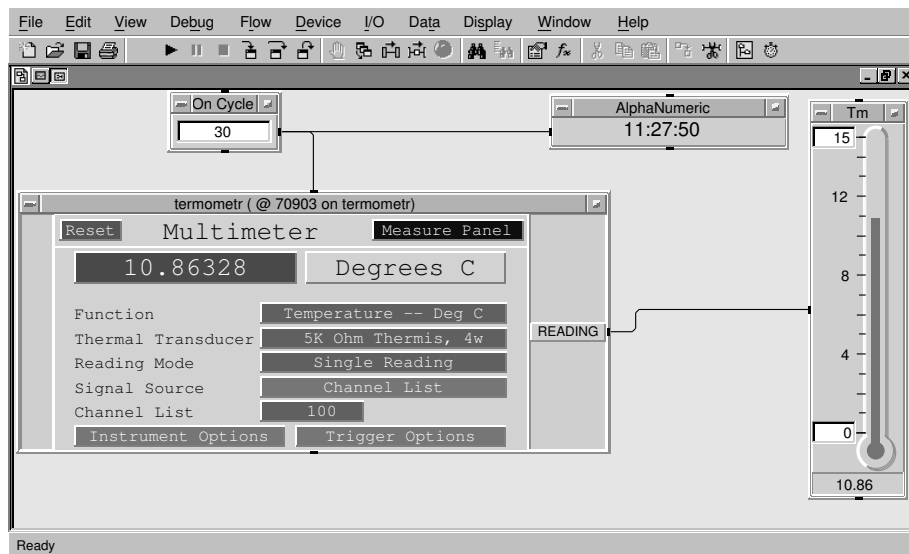
Każdy z bloków realizuje elementarną funkcję. Linie łączące „przyłącza” znajdujące się po lewej i prawej stronie bloków obrazują przepływ danych i są obowiązkowe. Linie łączące odpowiednie przyłącza znajdujące się u góry i u dołu bloków obrazują zależności czasowe pomiędzy blokami (konieczne są tylko wtedy, gdy kolejność wykonania nie wynika bezpośrednio z przepływu danych).

Kolejny przykład to aplikacja dokonująca pomiarów temperatury na podłączonym do komputera „elektronicznym termometrze”. Jak widać program jest bardzo prosty, a urządzenie pomiarowe konfigurowane jest w pełni z komputera z wykorzystaniem panelu imitującego (nieistniejącego w rzeczywistości — jest to bowiem instrument wirtualny) panel czołowy urządzenia pomiarowego.

Na kolejnej ilustracji widać w jaki sposób wirtualny termometr może być udostępniony w sieci komputerowej przez program HP VEE z wykorzystaniem technologii WWW.

4. Badanie tłumienia; przykład wykorzystania wirtualnego stanowiska badawczego

Pulsator hydrauliczny MTS-810 jest przykładem sterowanej numerycznie, uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej, stosowanej we współczesnych laboratoriach me-



Rysunek 2. Program realizujący pomiar temperatury (u góry) i widok „panelu” serwowany na stronie WWW — u dołu

chaniki eksperymentalnej. Szeroki zakres możliwych obciążeń (0–100 kN) i częstotliwości jego zadawania (0–100 Hz) umożliwia przeprowadzenie różnorodnych prób przy skrajnie małych jak i dużych prędkościach obciążenia. W wersji standardowej maszyna (pulsator) umożliwia zadawanie jednoosiowego stanu obciążenia (rozciąganie–ściskanie). Wykorzystanie dodatkowego osprzętu zapewnia przeprowadzenie również prób zginania, ścinania, skręcania a także realizacji złożonych stanów naprężenia.

Szczególnie uzasadnione ekonomicznie i technicznie jest wykorzystanie pulsatora do badań zmęczenia, mechaniki pękania i tłumienia. Ten ostatni rodzaj badań, o dużym stopniu trudności, posłuży nam dalej do ilustracji przypadku wirtualnego stanowiska wytrzymałościowego. Jest to uzasadnione tym, iż współczesne metody badania procesu zmęczenia materiałów konstrukcyjnych związane są z koniecznością wyznaczenia charakterystyk tłumienia.

Wynika to z kolei z faktu, iż:

1. Coraz powszechniej stosowane są hipotezy energetyczne. Energia bowiem w odróżnieniu od wielu innych wielkości stosowanych do opisu procesu zmęczenia, ma charakter addytywny. Może być ponadto stosowana jako wielkość kryterialna niezależnie od charakteru widma obciążenia (sinusoidalne, losowe, impulsowe, itd.).
2. Podejmuje się próby aplikacji różnorodnych efektów krzyżowych (magnetomechanicznych, termosprężystych, akustycznych) do analizy zjawiska zmęczenia i tworzenia nieniszczących, nowych technik diagnostycznych. W tym celu mierzy się nie tylko typowe sygnały mechaniczne takie jak naprężenie $\sigma(\xi)$ czy odkształcenie $\varepsilon(\xi)$ ale i inne wielkości fizyczne jak przyrost temperatury $\Delta T(\xi)$ (efekt Kelvina), natężenie pola magnetycznego $H(\xi)$ i indukcja $B(\xi)$ (efekt Villariego). W rezultacie dysponujemy całą gamą przebiegów czasowych sygnałów jak i różnorodnych pętli histerezy w wielu możliwych układach współrzędnych jak np. $\sigma - \varepsilon$, $\sigma - B$, $\Delta T - \varepsilon$ i innych.

W rezultacie uogólnione zadanie eksperymentalne sprowadza się do wyznaczenia różnorodnych pętli histerez. Pomiar w czasie rzeczywistym energii odkształcenia plastycznego ΔW , czy szerzej jakiegokolwiek z wymienionych pętli histerezy, szczególnie w obszarze wysokocyklowym, jest trudny i stanowi problem zarówno naukowy jak i techniczny. Zagadnienie komplikuje się dodatkowo w przypadku wyznaczenia ΔW w obszarze nieograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej, a szczególnie w interesującym nas obszarze między granicą zmęczenia a cykliczną granicą plastyczności.

Przykład wykorzystania układu pomiarowego do pomiaru pętli histerezy w wielu układach współrzędnych jak np. $\sigma - \varepsilon$, $H - \varepsilon$, $\sigma - B$, $\Delta T - \sigma$ pokazano na rysunku 3 [1, 6, 7]. Nie omawiano natomiast algorytmów pomiarowych i ich implementacji oraz błędów pomiaru, które to zagadnienia same w sobie są przedmiotem prac badawczych autorów.

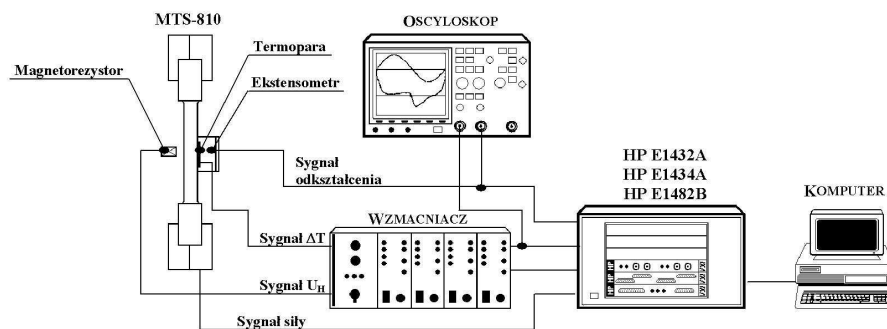
Rezultaty pomiarów zaprezentowano z kolei na rysunku 4.

5. Możliwość aplikacji do celów dydaktycznych

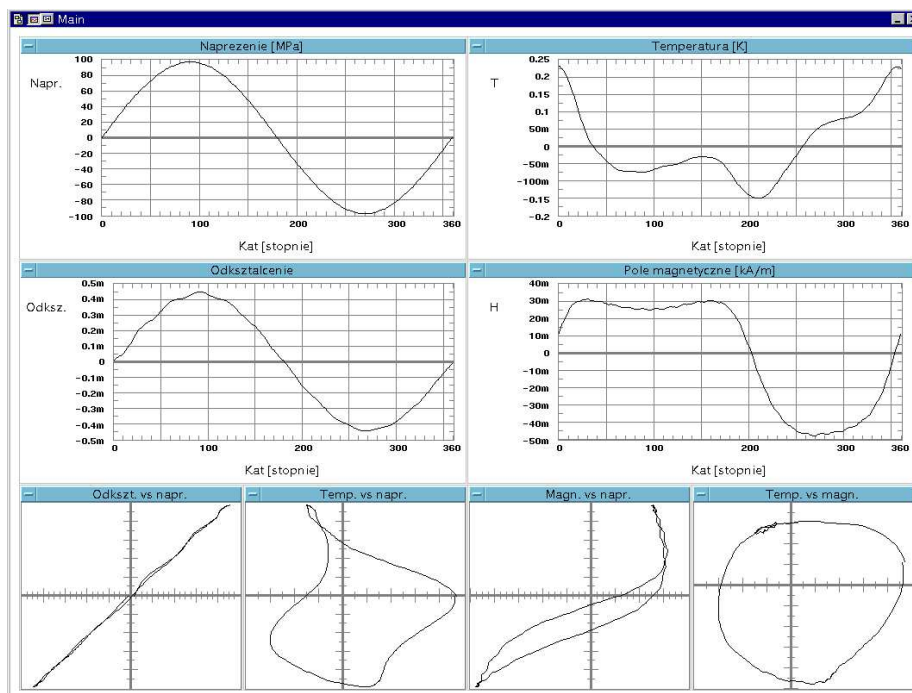
Oprócz podstawowego celu jakim jest budowa wirtualnego laboratorium zapewniającego dostęp do prowadzonych eksperymentów współpracującym jednostkom i ewentualnym klientom, użyta technologia pozwala również na realizację wirtualnego laboratorium dydaktycznego.

Współczesne oprzyrządowanie używane w rzeczywistych eksperymentach (nawet w naszych warunkach) jest bardzo drogie. Zazwyczaj posiadamy tylko jedno stanowisko badawcze. O ile nie stwarza to poważniejszych problemów podczas badań (poza wydłużeniem ich czasu trwania) to w przypadku zajęć dydaktycznych sprowadza ćwiczenia do roli pokazu. Wieloosobowa grupa studencka nie ma szans na inne wykorzystanie zajęć jak tylko pobieżne i nieuważne obejrzenie eksperymentu.

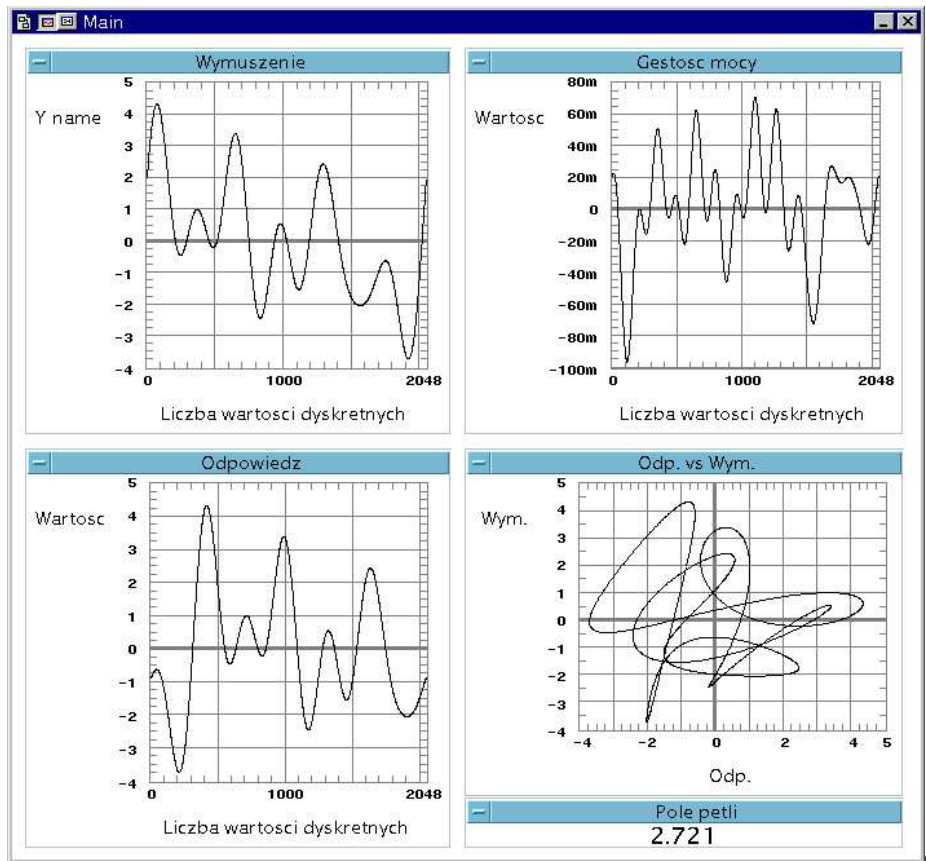
Zastosowanie naszego oprogramowania daje szansę na coś więcej: oprócz pokazu pracującej w laboratorium maszyny zmęczeniowej po przejściu do skomputeryzowanej sali dydaktycznej studenci będą mieli możliwość odczytania rzeczywistych danych pomiarowych i przeprowadzenia własnych obliczeń oraz aproksymacji z wykorzysta-



Rysunek 3. Schemat układu pomiaru tłumienia



Rysunek 4. Przykład wykorzystania układu do pomiaru tłumienia w procesie zmęczenia



Rysunek 5. Aplikacja do modelowania pętli histerezy w przypadku złożonych przebiegów harmoniczných

niem istniejącego w laboratorium oprogramowania: HP VEE, MathCAD czy Excel (obserwując przebieg eksperymentu na ekranie monitora).

W przypadku bardziej zaawansowanych zajęć istnieje możliwość przygotowania przez studenta własnego eksperymentu. Mógłby on złożyć z dostępnych, wcześniej przygotowanych bloków pewien cykl przetwarzania:

- zaprojektować kształt własnego sygnału wymuszającego,
- dobrać sposób sterowania (w przypadku maszyny zmęczeniowej na przykład siła, odkształcenie lub przemieszczenie),
- własnoręcznie przetworzyć uzyskane wyniki.

Będzie to wymagało wbudowania w program sterujący odpowiednich zabezpieczeń uniemożliwiających uszkodzenie próbki czy maszyny.

Na rysunku 5 pokazano przykład wykorzystania stanowiska wirtualnego do celów dydaktycznych do modelowania złożonych pętli histerezy. Przyjęto, iż przebieg $\sigma(\xi)$ zawiera siedem składowych harmoniczných, natomiast sygnał odkształcenia $\epsilon(\xi)$ był przesunięty po osi czasu o 60° . Wyznaczono analitycznie pole pętli histerezy ΔW , które wyniosło 2,7207. Student z kolei obliczył wartość pola wykorzystując pakiet HP VEE. Otrzymaną wartość 2,7210 porównał następnie z rezultatem dokładnym (analitycznym). Należy podkreślić, iż układ do modelowania umieszczony był w Laboratorium Dynamiki a wszystkie operacje student wykonał w ogólnodostępnym laboratorium komputerowym.

Wydaje się, że na dłuższą metę jest to jedyny sposób realizacji zajęć doświadczalnych w skali masowej. W przypadku laboratoriów przeznaczonych do prostszych, masowych ćwiczeń mogłyby to być:

- zestawy stanowisk laboratoryjnych odpowiednio „oczujnikowanych”,
- jedno (na całe laboratorium) wielokanałowe urządzenie pomiarowe podłączone bezpośrednio lub z wykorzystaniem komputera do sieci lokalnej,

- komputery na poszczególnych stanowiskach wyposażone w odpowiednie oprogramowanie zbierające dane pomiarowe.

6. Możliwości rozszerzenia funkcji wirtualnego laboratorium

Wydaje się, że oprócz możliwości zdalnego dostępu do aktualnie prowadzonego eksperymentu powinno się również przewidzieć możliwość udostępnienia partnerom retrospektywnego dostępu do wcześniej zebranych danych pomiarowych. Tylko stworzenie sprawnej bazy danych pozwalającej na jakąś formę rozproszonego dostępu daje szansę na rozwiązanie tego problemu.

Dodatkowym walorem takiego rozwiązania jest możliwość realizacji na potrzeby dydaktyki „fikcyjnych” i powtórnie odtworzonych eksperymentów”. Fikcyjnych w tym sensie, że zdarzyły się one już wcześniej, a nie zawsze można osiągnąć zamierzony rezultat w ciągu 90 minut zajęć.

Podstawowym walorem posiadania takiej bazy danych będzie jednak stałe gromadzenie uzyskanych rezultatów i łatwiejszy do nich dostęp, gdy będą potrzebne. Zwracam również uwagę, że gromadzenie nieprzetworzonych danych pomiarowych jest obowiązkiem każdego laboratorium ubiegającego się o akredytację [4].

7. Wnioski i uwagi końcowe

1. Wykorzystując HP VEE i uniwersalny pulsator zbudowano wirtualne stanowisko badawcze.
2. Stanowisko pozwala na zdalną obserwację i zbieranie danych *on-line* z prowadzonego eksperymentu współpracującym instytucjom badawczym.
3. Zaproponowana technologia może być również wykorzystana w dydaktyce: zarówno do prowadzenia zajęć stacjonarnych jak również w przypadku „szkolenia na odległość”.

Literatura

- [1] Paweł Chmielarczyk, Jerzy Kaleta, Wojciech Myszka. Metoda pomiaru tłumienia dla przypadku obciążeń deterministycznych i pseudolosowych. *Zmęczenie i mechanika pękania. Materiały XVIII sympozjum nt. Zmęczenie materiałów i konstrukcji*, strony 85–92, Bydgoszcz-Pieczyska, 2000. Wydaw. Uczel. ATR.
- [2] Distributed collaboratory experimental environments – science in cyber space. Electronic version: <http://www.rit.edu/~ssw3289/paper3.htm>.
- [3] Robert Helsel. *Visual Programming with HP VEE*. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 1998.
- [4] *PN-EN ISO/IEC 17025 – Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorujących (General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories ISO/IEC:1999)*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, Luty 2001.
- [5] William E. Johnston, Sonia Sachs. Distributed, collaboratory experiment environments (DCEE) program. Luty 1997.
- [6] Jerzy Kaleta. *Doświadczalne podstawy formułowania energetycznych hipotez zmęczeniowych*. Monografie Nr 24. Politechnika Wrocławska, Wrocław, 1998.
- [7] Jerzy Kaleta, Wojciech Myszka. Metoda pomiaru tłumienia w obszarze małych kątów przesunięcia fazowego. *VII Krajowa Konferencja Mechaniki Pękania*, strony 205–212, Kielce — Cedzyna, Wrzesień 1999. Politechnika Świętokrzyska.
- [8] Richard T. Kouzes, James D. Myers, William A. Wulf. Collaboratories: Doing science on the internet. *IEEE Computer*, 29(8), Sierpień 1996. Electronic version: <http://www.emsl.pnl.gov:2080/docs/collab/presentations/papers/IEEECollaboratories.html>.