

Wojciech Judt, Rafał Urbaniak, Bartosz Ciupek, Karolina Perz

Wykorzystanie środowiska LabVIEW w realizacji badań eksperymentalnych urządzeń cieplnych

JEL: L61 DOI: 10.24136/atest.2019.049

Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W artykule omówiono możliwości zautomatyzowania archiwizacji wyników pomiarów uzyskiwanych podczas badań eksperymentalnych urządzeń cieplnych. Do tego celu wykorzystano środowisko LabVIEW umożliwiające przygotowanie programu pomiarowego bez konieczności pisania kodu przy wykorzystaniu klasycznych języków programowania. W artykule pokrótce opisano typy czujników pomiarowych, które zwykle wykorzystywane są przy tego typu pomiarach. Ponadto przedstawiono specyfikację sprzętową w postaci układu pomiarowego wymaganego do współpracy z tego typu oprogramowaniem komputerowym. Artykuł przedstawia również metodologię przygotowania programu pomiarowego w środowisku LabVIEW.

Słowa kluczowe: pomiary cieplne, kotły grzewcze, środowisko LabVIEW.

Wstęp

Prowadzenie badań eksperymentalnych wymaga często dokonywania odczytów wskazań z wielu czujników zbierających dane pomiarowe, które są następnie dogłębnie analizowane. Zastosowanie do realizacji pomiarów czujników mierzących wielkości fizycznych generujących sygnał, który może być w łatwy sposób odczytywany przy pomocy elektronicznych kart pomiarowych jest w stanie w znaczący sposób uprościć realizację tego typu badań. Jednym z typów urządzeń cieplnych, które podlegają badaniom eksperymentalnym są kotły grzewcze spalające paliwa stałe. Prowadzenie badań eksperymentalnych związanych z pracą kotłów grzewczych spalających tego typu paliwa ze względu na ich dużą bezwładność cieplną trwa przynajmniej kilka godzin. Dokonanie kompleksowej analizy realizowanego procesu cieplnego podczas pracy tego typu urządzeń grzewczych sprowadza się zwykle do przeprowadzenia analizy składu spalin oraz ilości pyłów powstających w procesie spalania [1] jak i rozkładów temperatury w komorze wymiennikowej urządzenia grzewczego. Analizie podlegają również temperatura spalin opuszczających urządzenie grzewcze, temperatura wody chłodzącej jak i wartość ciągu uzyskiwana w przyłączy kominowym dzięki któremu spaliny kierowane są do atmosfery. W związku z tym, że pomiary składu spalin prowadzone są przy wykorzystaniu autonomicznych analizatorów spalin nie jest konieczne wprowadzanie dodatkowego układu pomiarowego, ponieważ tego typu urządzenia mają zaimplementowany bardzo wygodny układ archiwizacji danych. Pozostałe mierzone wielkości fizyczne takie jak temperatura i ciśnienie muszą zostać zarchiwizowane przy pomocy odpowiednio przygotowanego układu pomiarowego.

W realizacji pomiarów z pomocą przychodzi środowisko LabVIEW umożliwiające zautomatyzowane zbieranie danych z wielu zastosowanych czujników pomiarowych. Środowisko LabVIEW jest oprogramowaniem, które umożliwia tworzenie kodu programu w postaci graficznej z wykorzystaniem schematu blokowego. Środowisko to umożliwia tworzenie własnego kodu ukierunkowanego na tworzenie stanowisk pomiarowych oraz układów sterowania. Przygotowanie własnego programu w środowisku LabVIEW składa się z dwóch etapów. Pierwszym zadaniem autora programu jest stworzenie wyglądu

panelu czołowego, który będzie umożliwiał użytkownikowi komunikację z programem. W drugiej kolejności należy stworzyć cały szkielet programu w formie schematu blokowego, nadając kolejnym elementom programu pomiarowego odpowiednie połączenia między blokami.

1. Czujniki pomiarowe wykorzystywane podczas realizacji zautomatyzowanych pomiarów cieplnych

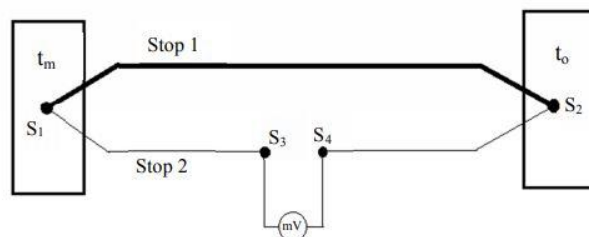
Realizacja pomiarów cieplnych z wykorzystaniem elektronicznych kart pomiarowych wymaga zastosowania czujników, które generują sygnał w łatwy sposób mierzony przy pomocy urządzeń elektronicznych. Do tego typu sygnałów w głównej mierze należą napięcie, natężenie prądu oraz wartość zmiany rezystancji w funkcji mierzonej wielkości fizycznej.

W pomiarach temperatury dominują dwa typy termometrów, termometry rezystancyjne oraz termoelementy. Termometry rezystancyjne bazują na zmianie rezystancji czynnego elementu czujnika w funkcji temperatury. Najczęściej wykorzystywanymi termometrami rezystancyjnymi są te, w których element pomiarowy wykonany jest z platyny. Gwarantuje to zachowanie bardzo wysokiej dokładności pomiarowej w zakresie pomiaru wynoszącego od -190 do 630 °C [3]. Najpopularniejszy typ czujnika rezystancyjnego platynowego nosi oznaczenie PT100, które wynika z uzyskiwanej rezystancji w temperaturze 0 °C wynoszącej 100 Ω. Przykładowy termometr rezystancyjny w obudowie przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Termometr rezystancyjny PT100 [10]

Drugim typem powszechnie wykorzystywanych czujników do pomiarów temperatury są termometry termoelektryczne. Ten typ termometrów wykorzystuje zjawisko polegające na wytworzeniu kontaktowej różnicy potencjałów na styku dwóch metali tworzących ogniwo termoelektryczne w przypadku, gdy oba styki znajdują się w różnych temperaturach zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2 [8].



Rys. 2. Schemat termoelementu [8]

Najczęściej wykorzystywanymi w pomiarach urządzeń cieplnych są termoelementy typu K. Termopara typu K (NiCr-NiAl) umożliwia realizację pomiaru w zakresie od -200 do 1200 °C dzięki czemu pokrywają one pełen zakres pomiarowy pracy większości urządzeń cieplnych.

Pomiary ciśnienia realizowane są przy wykorzystaniu różnych przetworników, jednak najczęściej wykorzystywanymi sygnałami przesyłanymi do układu pomiarowego są natężenie lub napięcie prądu elektrycznego. Zebranie informacji pomiarowej z tego typu przetworników, bazuje na pomiarze różnicy ciśnień uzyskiwanej w celi pomiarowej wyposażonej w specjalną przeponę. Odształcenie przepony wynikające z różnicy ciśnień jest mierzone przy pomocy czujnika indukcyjnego [11]. Przykładowy różnicowy przetwornik ciśnienia pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Różnicowy przetwornik ciśnienia FSM DPS przeznaczony do pomiarów w agresywnym środowisku [9]

2. Przykładowa specyfikacja sprzętowa potrzebna do prowadzenia badań

Archiwizacja danych zebranych z poszczególnych czujników pomiarowych w sposób automatyczny wymaga zastosowania kart pomiarowych zdolnych do pracy z wykorzystywanymi czujnikami w trakcie wykonywania eksperymentu. Pomiary temperatury przy pomocy czujników termoelektrycznych realizowane mogą być przy wykorzystaniu karty pomiarowej o oznaczeniu NI9214. Tego typu karta pomiarowa umożliwia realizację pomiaru z 16 kanałów, przy wykorzystaniu termopar typu J, K, T, E, N, B, R oraz S. Wykorzystywana w badaniach karta pomiarowa została przedstawiona na rysunku 4 [6].



Rys. 4. Karta pomiarowa NI9214 przeznaczona do realizacji pomiarów temperatury przy pomocy czujników termoelektrycznych [6]

Pomiar temperatury realizowany przy pomocy termometrów rezystancyjnych ze względu na wykorzystywanie innego zjawiska fizycznego musi być realizowany przy pomocy karty pomiarowej innego typu. Do tego typu pomiarów może posłużyć karta pomiarowa o oznaczeniu NI9217. Karta umożliwia jednocześnie przeprowadzenie pomiarów przy wykorzystaniu czterech termometrów rezystancyjnych. Karta umożliwia realizowanie pomiarów z trój oraz czteroprzewodowych termometrów rezystancyjnych w zakresie pomiarowym 0÷400 Ω lub od -200 do 850 °C [7].

Pomiary ciśnienia wykonywane przy pomocy przetworników ciśnienia generujących sygnał prądowy realizowane są zazwyczaj dla sygnału prądowego w zakresie 4-20mA. Tego typu pomiary sygnału analogowego mogą być realizowane przy pomocy karty pomiarowej NI9203 przedstawionej na rysunku 5, umożliwiającej realizację pomiarów sygnału prądowego dla ośmiu kanałów pomiarowych [5].



Rys. 5. Karta NI9203 umożliwiająca realizację pomiarów natężenia prądu w zakresie ±20mA z ośmiu kanałów pomiarowych [5]

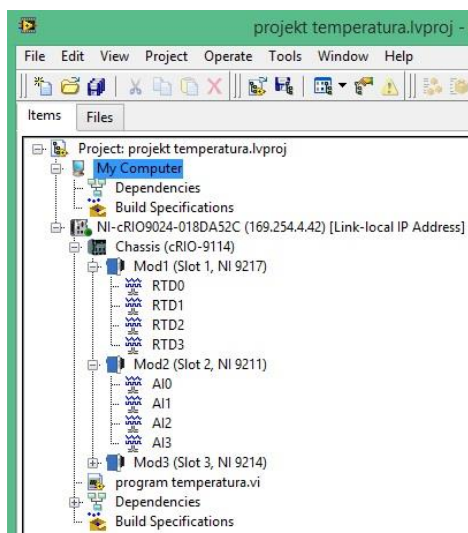
Zastosowane do badań karty pomiarowe w trakcie pracy współpracują ze specjalnym kontrolerem CompactRIO. Kontroler ten umożliwia przeprowadzenie kompleksowych pomiarów w badaniach przemysłowych. Sterownik może pracować w nieprzyjnych warunkach, jakimi charakteryzują się badania urządzeń cieplnych w podwyższonej temperaturze oraz w zanieczyszczonych pomieszczeniach. Urządzenie posiada wbudowaną pamięć przechowującą wykonywalny program oraz uzyskiwane wyniki pomiarów. Do sterownika dołączana jest szyna umożliwiająca zamontowanie kart pomiarowych wejścia/wyjścia w kontrolerze przy pomocy których urządzenie może realizować odczyt. Urządzenie w zależności od wybranego typu pracy oferuje realizację pomiarów z różną częstotliwością. Aplikacja pomiarowa może zostać przygotowana przez zastosowanie klasycznego, nieskompilowanego programu przygotowanego w środowisku LabVIEW oraz skompilowanego programu wykonywalnego dzięki programowalnemu brankom FPGA [12, 13].



Rys. 6. Urządzenie CompactRIO firmy National Instruments [4]

3. Przygotowanie programu umożliwiającego zautomatyzowane zbieranie wyników pomiarów

Obsługa kontrolera CompactRIO w środowisku LabVIEW realizowana jest poprzez drzewo projektu. Zrzut ekranu przedstawiający drzewo projektu programu wykorzystywanego w trakcie realizacji pomiarów cieplnych przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Drzewo projektu specyfikacji sprzętowej wykorzystywanej w pomiarach temperatury

Drzewo projektu umożliwia przesłanie do kontrolera przygotowanego programu w środowisku LabVIEW. Program ten nazywany jest w języku angielskim wirtualnym instrumentem (ang. virtual instrument), od którego pochodzi rozszerzenie programu przygotowanego w LabVIEW vi. Drzewo programu umożliwia również zaimportowanie do programu odnośnika odpowiedzialnego za przesyłanie danych zebranych z poszczególnych kanałów pomiarowych dostępnych w wykorzystywanych do badania kartach pomiarowych. W drzewie projektu widoczne są karty pomiarowe, które zostały zamontowane w gnieździe kontrolera CompactRIO. Menu projektu umożliwia również dokonanie modyfikacji ustawień parametrów dla zaimplementowanych kanałów pomiarowych, między innymi wybór typu zastosowanych do pomiaru czujników termoelektrycznych.

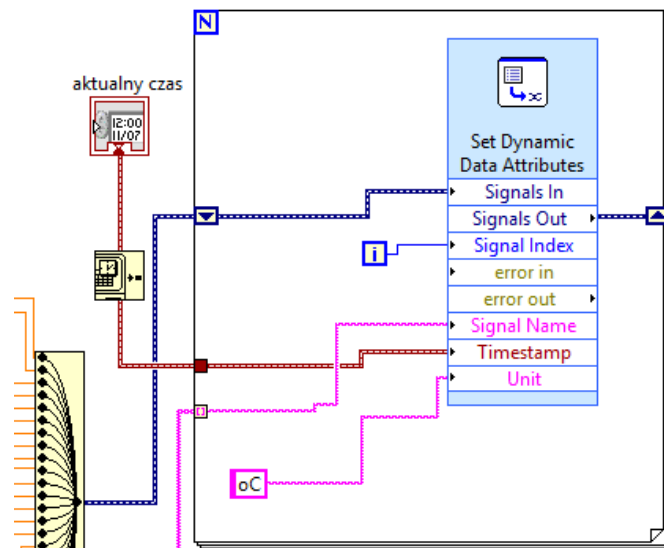
Rysunek 8 przedstawia zaimplementowanie do diagramu blokowego programu odczytu z kanału karty pomiarowej odpowiedzialnej za zbieranie wyników z termometrów rezystancyjnych RTD (ang. Resistance Thermometer Detector). Odczytana wartość rezystancji jest automatycznie przeliczana na wartość temperatury w wygodnej dla

użytkownika skali termometrycznej. Uzyskana wartość temperatury jest następnie wyświetlana na panelu użytkownika programu pomiarowego.



Rys. 8. Przesłanie do programu informacji z karty pomiarowej zbierającej dane z termometru rezystancyjnego [2]

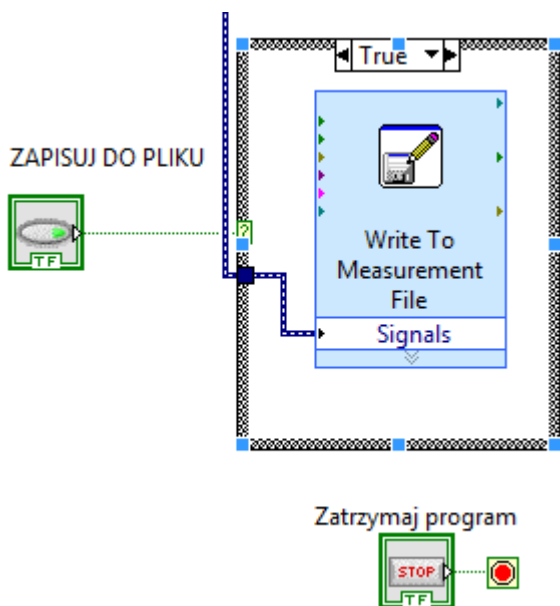
Uzyskiwane dane z poszczególnych czujników są następnie przesyłane do elementu programu, który umożliwia połączenie poszczególnych sygnałów w jeden zbiorczy. Dane te są następnie kierowane do specjalnego układu opartego na pętli for umożliwiającego nadanie zmierzonym wielkościom ze wszystkich kanałów pomiarowych opisów dotyczących nazwy kanału, rejestrowanej jednostki pomiarowej czy czasu realizacji pomiaru. Dane dotyczące nazwy kanału pomiarowego wraz z krótkim opisem podawane są przez użytkownika przy pomocy panelu czołowego programu. Z kolei czas pomiaru jest odnotowywany na podstawie bloku wykonawczego umieszczonego w schemacie blokowym pobierającego czas systemowy z kontrolera. Fragment kodu odpowiedzialny za opisanie zebranych danych pomiarowych został przedstawiony na rysunku 9.



Rys. 9. Fragment schematu blokowego programu odpowiedzialny za wprowadzanie istotnych informacji do tworzonego pliku z danymi [2]

Cały program pomiarowy zamknięty jest w pętli while z określonym terminalem warunkowym zakończenia działania programu poprzez wciśnięcie przycisku stop. Częstotliwość wykonywania kolejnych pomiarów przy pomocy programu pomiarowego zdefiniowana jest na podstawie okresu wykonywania pojedynczej iteracji głównej pętli programu. Z racji tego, że pomiary cieplne obarczone są dużą bezwładnością, zaś sam pomiar realizowany jest przynajmniej kilka godzin okres pomiędzy kolejnymi realizowanymi pomiarami wynosi zazwyczaj od kilku do kilkunastu sekund.

W ostatnim etapie pracy programu pomiarowego konieczne jest zapisanie zebranych danych pomiarowych do pliku zewnętrznego w celu przeprowadzenia dalszej obróbki. Zrzut ekranu fragmentu kodu odpowiedzialnego za eksportowanie danych do pliku przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Fragment kodu odpowiedzialny za zapisywanie zebranych pomiarów do pliku zewnętrznego [2]

Odpowiednio przetworzony sygnał pomiarowy jest dostarczany do bloku write to measurement file. Ten element programu umożliwia zapisywanie danych do pliku tekstowego w formacie lvm, pliku binarnego tdms oraz bezpośrednio do formatu xls obsługiwanego przez arkusz kalkulacyjny Microsoft Excel. Najlepsze efekty przy zapisie danych do pliku zewnętrznego są zauważalne podczas generowania pliku w formacie tdms. Plik z danymi wygenerowanymi w tym formacie może być w łatwy sposób zaimportowany do arkusza kalkulacyjnego w celu dalszej obróbki. W odróżnieniu od bezpośredniego eksportu do formatu xls plik ten posiada dwa osobne arkusze, przy czym pierwszy z nich przechowuje ogólne informacje dotyczące pomiaru, które zostały dopisane do danych przy pomocy elementu set dynamic attributes. Drugi arkusz przechowuje wyniki pomiarów. Podczas eksportu do formatu xls program eksportuje tylko jeden arkusz bez dodatkowych informacji o zrealizowanych pomiarach. Element zapisujący dane do pliku został umieszczony w elemencie case structure, który umożliwia użytkownikowi wybór czy aktualnie zbierane dane pomiarowe mają zostać wyeksportowane do pliku.

Fragment ekranu głównego programu w trakcie realizacji pomiarów przedstawia rysunek 11.



Rys. 11. Panel czołowy programu pomiarowego [2]

Ten element programu odpowiedzialny jest za komunikację z użytkownikiem. Na ekranie głównym dostępne są indykatory wyświetlające zmierzoną temperaturę ze wszystkich zastosowanych kanałów pomiarowych. Ponadto na ekranie głównym dostępne są dwa przyciski. Przycisk stop odpowiedzialny jest za wywołanie warunku logicznego, który spowoduje zakończenie działania programu poprzez przerwanie wykonywania kolejnych iteracji głównej pętli. Przycisk "zapisz do pliku" umożliwia użytkownikowi wybranie czy aktualnie zmierzone wartości ze wszystkich czujników pomiarowych mają zostać zapisane do zewnętrznego pliku. W pewnych sytuacjach użytkownik może nie chcieć eksportowania wszystkich danych do pliku, jednak wołaby mieć informacje o aktualnie występujących wartościach temperatury na ekranie głównym programu. Taka sytuacja może występować na przykład podczas przygotowywania urządzenia do badań.

Podsumowanie

Realizacja pomiarów eksperymentalnych w trakcie badań urządzeń cieplnych wymaga zwykle zebrania wyników pomiarów z kilku lub nawet kilkunastu czujników temperatury oraz ciśnienia. Zastosowanie układu kart pomiarowych wraz z kontrolerem umożliwia realizację pomiarów mierzonych wielkości fizycznych przy pomocy czujników oraz przetworników o różnej zasadzie działania. Przygotowanie programu pomiarowego na podstawie którego realizowane są pomiary nie wymaga od użytkownika napisania kodu programu w klasycznym języku programowania a jedynie utworzenia jego schematu blokowego. Komunikacja pomiędzy użytkownikiem a programem odbywa się przez przygotowany podczas tworzenia programu panel czołowy. Środowisko LabVIEW umożliwia użytkownikowi bardzo elastyczne podejście do stworzenia zarówno schematu blokowego jak i ekranu czołowego programu pomiarowego. Zebrane w trakcie pracy programu wyniki pomiarów mogą zostać w bardzo prosty sposób wyeksportowane do pliku zewnętrznego, dzięki czemu w wygodny sposób można archiwizować zebrane wyniki oraz je wizualizować.

Bibliografia:

1. Ciupek B., Urbaniak R., Bartoszewicz J., Emisja tlenku węgla i tlenków azotu z kotła małej mocy w zależności od zastosowanego paliwa węglowego, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, t. 49, nr 3, 2018.
2. Judt W., *Analiza pola temperatury w kotle Q-EKO 15 kW uzyskanego metodami eksperymentalnymi i numerycznymi*, praca dyplomowa inżynierska, Poznań, 2015.
3. Fodemski T., *Pomiary cieplne, cz. 1. Podstawowe pomiary cieplne*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
4. Manno V., *Visualisation of Flow Patterns in a Flat Plate Pulsating Heat Pipe (FP-PHP) for Automotive Applications: Influence of Hydraulic Behaviour on Thermal Performances*, DOI: 10.13140/RG.2.1.2421.6084.
5. National Instruments, DATASHEET NI 9203.
6. National Instruments, DATASHEET NI 9214 and TB-9214.
7. National Instruments, DATASHEET NI 9217.
8. Wędrychowicz W., *Miernictwo Energetyczne – laboratorium, Pomiar temperatury termoelementami*, Wrocław, 2017.
9. <https://acse.pl/produkt/pi-przetworniki-cisnienia-i-roznicy-cisnien/> (dostęp 10.22.2018).
10. <https://www.conrad.pl/p/termometr-oporowy-pt100-z-glowica-przylaczeniowa-rtkr-m06-l2501-emko-rtkr-m06-l2501-1273952> (dostęp 10.22.2018).
11. <https://www.merсерwis.pl/oferta/srhvacr/hvacr/przetworniki/przetworniki-cisnienia/fsm-dps-aps-przetwornik-roznicy-cisnien-opis.html> (dostęp 10.22.2018).

12. <http://www.ni.com/pl-pl/shop/compactrio.html>
(dostęp 10.22.2018).
13. <http://physics.wku.edu/phys318/resources/crio/>
(dostęp 10.22.2018).

Application of labVIEW environment during realization of experimental research in thermal devices

Paper discussed possibilities of realization of automatic measurements obtained during experimentally research in heating devices. LabVIEW environment was used for this purpose. This software allow to prepare a measurement application without necessity of classical programming language using. Article presents type of detectors, which are popularly used during realization of this type of measure-

ments. Also a hardware specification was presented, which is required in cooperation with this type of software. Paper also presents a methodology of measurement application preparation for this type of experimental research.

Keywords: thermal measurements, heating boilers, LabVIEW environment.

Autorzy:

mgr inż. **Wojciech Judt** – Politechnika Poznańska – Katedra Techniki Ciepłej, wojciech.judt@put.poznan.pl
dr inż. **Rafał Urbaniak** – Politechnika Poznańska
mgr inż. **Bartosz Ciupek** – Politechnika Poznańska
dr inż. **Karolina Perz** – Politechnika Poznańska