

Andrzej ERD

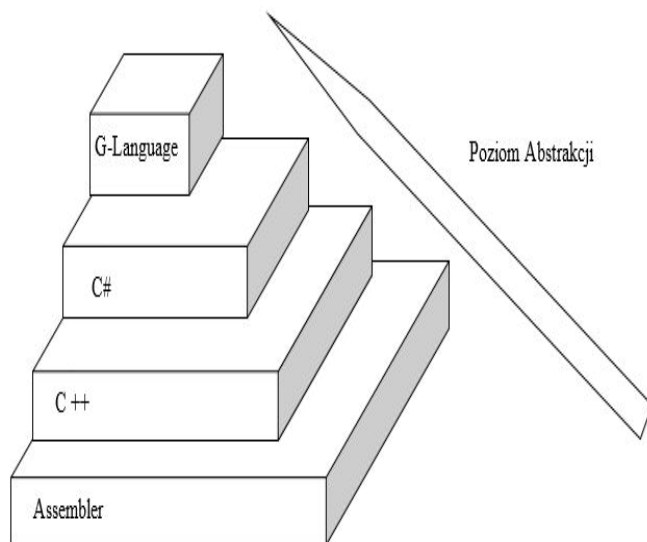
STANOWISKO DO MODELOWANIA ALGORYTMÓW STEROWANIA POMPOWNI WODOCIĄGOWEJ Z WYKORZYSTANIEM LABVIEW

Streszczenie

W pracy przedstawiono stanowisko do modelowania algorytmów sterowania pompowni wodociągowej. Sterowanie stanowiska zrealizowano za pomocą LabVIEW. Przedstawiono cel budowy, oraz uzasadniono wybór platformy sprzętowej. Przedstawiono miejsce języka graficznego użytego do budowy algorytmu w piramidzie abstrakcji języków programowania systemów pomiarowych. Opisano schemat blokowy stanowiska oraz przebieg pomiarów. Zaproponowano projekt panelu frontowego przyrządu wirtualnego i opisano wszystkie wymagane funkcjonalności znajdujące się na ekranie. W odrębnym rozdziale opisano przebieg sterowania. Wymieniono główne elementy diagramu sterującego omówiono ich działanie a także przebieg sygnałów. W podsumowaniu odniesiono się do zalet i wad programowania graficznego systemów pomiarowych. Przedstawiono także możliwe zastosowania opracowanego stanowiska.

WSTĘP

Duże pompownie wody np. wodociągów miejskich cechuje znaczna zmienność rozbioru. Zwykle w tego rodzaju obiektach pracuje kilka agregatów pompowych pracujących na wspólną sieć. Pompy są obecnie zwykle zasilane z przemienników częstotliwości w celu zapewnienia płynnego rozpoczęcia i zakończenia pracy zapobiegającego uderzeniom hydraulicznym. Ponadto obecność przemienników pozwala na znaczne zmniejszenie lub wręcz eliminację z układu pompowego buforujących zbiorników ciśnieniowych. Powoduje to jednak działanie silnika napędu pompy w różnych punktach pracy nie zawsze optymalnych. Dodatkowo w trakcie analizy należy uwzględnić charakterystykę wydatku pompy w funkcji prędkości obrotowej, która nie jest liniowa.



Rys 1. Piramida abstrakcji języków programowania aparatury pomiarowej

Z punktu widzenia optymalizacji zagadnienia sterowania zespołu pomp, istotne jest posiadanie narzędzia do modelowania zjawisk hydraulicznych w celu umożliwienia weryfikacji założonych teoretycznie modeli sterowania pod kątem np. minimalizacji zużycia energii.

Niniejsza publikacja przedstawia służące do tego celu stanowisko wykorzystujące System LabVIEW do sterowania zaworami i odczytu parametrów procesu pompowania.

System wirtualnych przyrządów pomiarowych opracowany w firmie National Instruments znany pod nazwą LabVIEW (LV) jest rozbudowanym zbiorem elementów obejmującym zarówno szeroki asortyment urządzeń jak i odpowiednie do nich oprogramowania. Idea LabVIEW opiera się na konstrukcji jak najdokładniejszych układów czujnikowych z przetwarzaniem cyfrowym i dalszym opracowaniu wyników przez system komputerowy. Istnieje kilka rodzin układów LabVIEW różniących się zakresem wykonywanych pomiarów, częstotliwością próbkowania, sposobem komunikacji z komputerem oraz ceną. Zaletą LV jest duża elastyczność istniejących modułów rozumiana, jako różnorodność wielkości pomiarowych oraz ich zakresów np.: napięcie stałe, i przemiennie, prąd stały, i przemienny, temperatura, napięcia, naprężenia mierzone tensometrami, i wiele innych. Do celów sterowania są produkowane moduły cyfrowe wejściowe i wyjściowe.

1. PRZEZNACZENIE I STRUKTURA FIZYCZNA STANOWISKA

Przyjęto, że stanowisko powinno mieć charakter badawczy z możliwością prowadzenia za jego pomocą zajęć dydaktycznych, w związku z tym powinno być uniwersalne, pozwalające na szerokie zmiany pomiarów oraz zakresów otrzymywanych wyników. Podstawowym celem budowy stanowiska jest fizyczne odwzorowanie procesów pompowania wody z uwzględnieniem zmian wielkości przepływu, przy jednoczesnym obserwowaniu zużycia energii związanego z tym procesem. Stosując różne algorytmy załączania pomp i wielkości ichysterowania, możliwe jest porównanie algorytmów między sobą pod kątem energoochłonności. Schemat blokowy stanowiska pokazano na rysunku 2.

Zespół czterech pomp jest zasilany z sieci prądu zmiennego za pomocą przemienników częstotliwości zainstalowanych w szafie sterującej. Pompy podają wodę do kolektora głównego, z którego odbywa się rozbiór wody. Na kolektorze jest zainstalowany miernik Siemens MAG 6000 którego celem jest pomiar wielkości przepływu i ciśnienia. Dzięki interfejsowi pomiarowemu. Informacja o tych wielkościach trafia do kasy LabVIEW umieszczonej w szafie sterującej. Wielkość rozbioru jest zależna od ilości otwartych zaworów regulacyjnych dwustanowych dołączonych do rur o różnej średnicy. Różne

kombinacje otwartych zaworów pozwalają na zmianę wielkości natężenia wypływającej z rurociągu wody i podawanie jej z powrotem do wlotów pomp. W ten sposób regulacja wielkości przepływu odbywa

Przeznaczeniem szafy sterującej jest integracja wszystkich układów elektrycznych zasilających, sterujących, zabezpieczeniowych oraz pomiarowych. Operator stanowiska ma możliwość sterowania zarówno w trybie ręcznym jak i automatycznym. W trybie pracy automatycznej stanowisko zadaje rozbiory wody za pomocą otwierania i zamykania dwustanowych zaworów sterujących odcinających lub otwierających rurki o różnym przekroju. W ten sposób możliwe jest zmienianie wielkości przepływu w kolektorze głównym w szerokich granicach, a następnie generuje wartości ciśnienia i przepływu w kolektorze głównym. Wewnątrz szafy znajduje się kasetka sterująca LabVIEW typu NI cDAQ 9174. Jej rolą jest zapewnienie komunikacji, poprzez złącze USB, pomiędzy komputerem rejestrującym pomiary, a osadzonymi w niej modułami pomiarowymi. W kasecie zainstalowane są moduły typu NI 9227 Pozwalają one na odczyt wartości ciśnienia i przepływu z miernika MAG 6000 ponadto zainstalowany jest moduł wyjść cyfrowych generujący sygnały uruchamiające poprzez zestaw przekaźników półprzewodnikowych zawory regulacyjne. Rejestracja poboru energii odbywa się oddzielnie za pomocą analizatora jakości zasilania PQM-701 zainstalowanego we wnętrzu szafy. Analizator ten spośród wielu różnych cech, ma również możliwość zapisu wartości zużycia energii w ustalonych odcinkach czasu. Ta własność pozwala na jego zastosowanie do przedstawianych pomiarów efektywności energetycznej

2. ARCHITEKTURA LOGICZNA SYSTEMU

Budowa Przyrządu wirtualnego za pomocą LabVIEW odbywa się poprzez wstawianie na ekran użytkownika kontrolek i jednocześnie na dodatkowym ekranie/ekranach) organizowania przepływu danych za pomocą diagramów przepływu. Przedstawiony na rys. 2. zestaw urządzeń jest sterowany za pomocą panelu pokazanego na rysunku 3. Głównymi wielkościami procesu pompowania są Ciśnienie P(t) i Natężenie Przepływu Q(t). Te wielkości są prezentowane na bieżąco w trakcie badań zarówno w postaci numerycznej jak i w postaci wykresów w funkcji czasu Lewa część panelu pozwala na sterowanie obiektem.

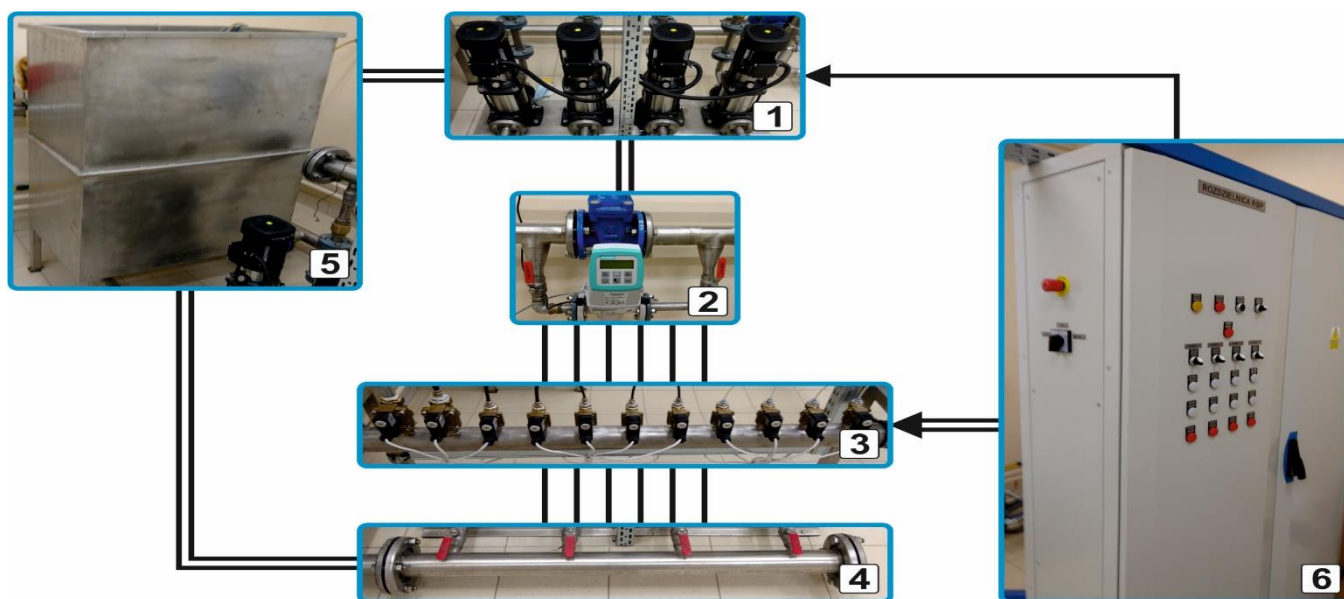
się w sposób cyfrowy. Rolą zbiornika buforowego jest gromadzenie wody, która krąży w cyklu zamkniętym, co obniża koszty eksploatacji stanowiska.

Zasadniczo przed rozpoczęciem badań powinien być przygotowany konfiguracyjny tekstowy plik wejściowy - o odpowiedniej strukturze. Jego nazwa i ścieżka dostępu są edytowalne w polu Path. Plik ten zawiera w kolejnych wierszach numer konfiguracji, oraz konfigurację załączonych zaworów regulacyjnych, a także czas przez jaki ta konfiguracja ma być obowiązująca. Możliwe jest by plik konfiguracyjny była powtarzany w pętli, co jest realizowane za pomocą przełącznika wirtualnego Loop On. Aktualnie wykonywany wiersz pliku konfiguracyjnego jest wyświetlany w zestawie pól znajdującym się u góry po lewej stronie panelu(Number, Port1, Port0, Time) .

Tablica poniżej pozwala na podgląd kolejnych konfiguracji tzn. które zawory będą załączane, i na jak długo, w najbliższym czasie. Wskaźniki koloru zielonego i i czerwonego wskazują aktualny stan pracy stanowiska RUN- test trwa, STOP – test zakończony. Wirtualny przycisk STOP zatrzymuje cykl pomiarowy. Zespół przełączników wirtualnych u dołu ekranu pozwala na sterowanie ręczne bez użycia pliku konfiguracyjnego. Przejście ze sterowania automatycznego na ręczne odbywa się za pomocą przełącznika Manual/Automatic.

W opisywanym stanowisku istotne jest by zachodzące w sterowaniu zmiany wraz z parametrami wyjściowymi zostały utrwalone tak by można je było porównywać dla oceny różnych algorytmów. W związku z tym system posiada możliwość zapisu wyników do pliku tekstowego. Czynność ta jest uruchamiana za pomocą przycisku **Write to file**. Ścieżka dostępu do pliku jest konfigurowalna, jednak dla ułatwienia obsługi jest ona predefiniowana i po każdym pomiarze nazwa jest modyfikowana tak by pliki z kolejnych pomiarów nie ulegały nadpisaniu. System wykonuje pomiary i wyświetla wyniki oraz je zapisuje w funkcji czasu Q(t) oraz P(t).

Co prawda na ekranie są generowane takie wykresy jednak zdaniem autora bardziej użyteczne jest wyprowadzenie „surowych” wyników do pliku tekstowego a następnie ich obrazowanie za pomocą arkusza kalkulacyjnego EXCEL. Tego rodzaju podejście pozwala na wykorzystanie ogromnej siły graficznej EXCELA bez konieczności oprogramowywania tej czynności z poziomu LabVIEW. Jednakże najważniejsza zaleta takiego rozwiązania tkwi w możliwości łączenia z sobą wyników pomiarów ciśnienia i natężenia przepływu z poborem



Rys. 2: Schemat blokowy pompowni 1-Zespół pomp; 2-Kolektor główny i urządzenia pomiarowe przepływu i ciśnienia; 3-Zespół zaworów regulacyjnych 4-Kolektor wyjściowy 5-Zbiornik buforowy 6-Szafa sterująca

energii uzyskiwanym z analizatora PQM 701. W chwili obecnej jeszcze taka integracja pomiarów nie została w systemie zaimplementowana. Poza tym wbudowanie do przyrządu wirtualnego konkretnego sposobu rysowania charakterystyki zawsze ograniczałoby dalszy rozwój systemu. W rozwiązaniu przyjętym takiego ograniczenia po prostu nie ma. Możliwe jest natomiast wykorzystanie makr EXCELA i uzyskanie omawianego wcześniej efektu za ich pomocą. Sposób działania przyrządów wirtualnych jest w systemie LabVIEW definiowany za pomocą diagramów przepływu. W prezentowanym rozwiązaniu przyjęto, że funkcja sterowania zaworami jest całkowicie oddzielona od pomiarów przepływu. Jest to dokładne odwzorowanie stanu rzeczywistego.

To znaczy, że pomiary są wtórne w stosunku do wymuszenia zadawanego algorytmem sterowania pomp oraz obciążeniem definiowanym przez położenia zaworów regulacyjnych. Wyniki pomiarów nie powinny w żaden sposób zależeć od sterowania. Takie podejście ułatwiło z kolei sterowanie obiektem, ponieważ uniknięto potrzeby synchronizacji zdarzeń pomiędzy obu procesami tj. pomiaru i sterowania zaworami.

2.1. Diagram przepływu pomiarów i wyprowadzania wyniku

Diagramy przepływu dla omawianego przyrządu wirtualnego przedstawiono na rys. 4 (pomiaru) i 5 (sterowanie zaworami).

Warto zwrócić uwagę, że diagram jest otoczony obwódką. W języku graficznym LabVIEW oznacza to pętlę, która jest sterowana przez obiekt *Time delay*. Tym samym zapisy do pliku danych są wykonywane w stałych odstępach czasowych.

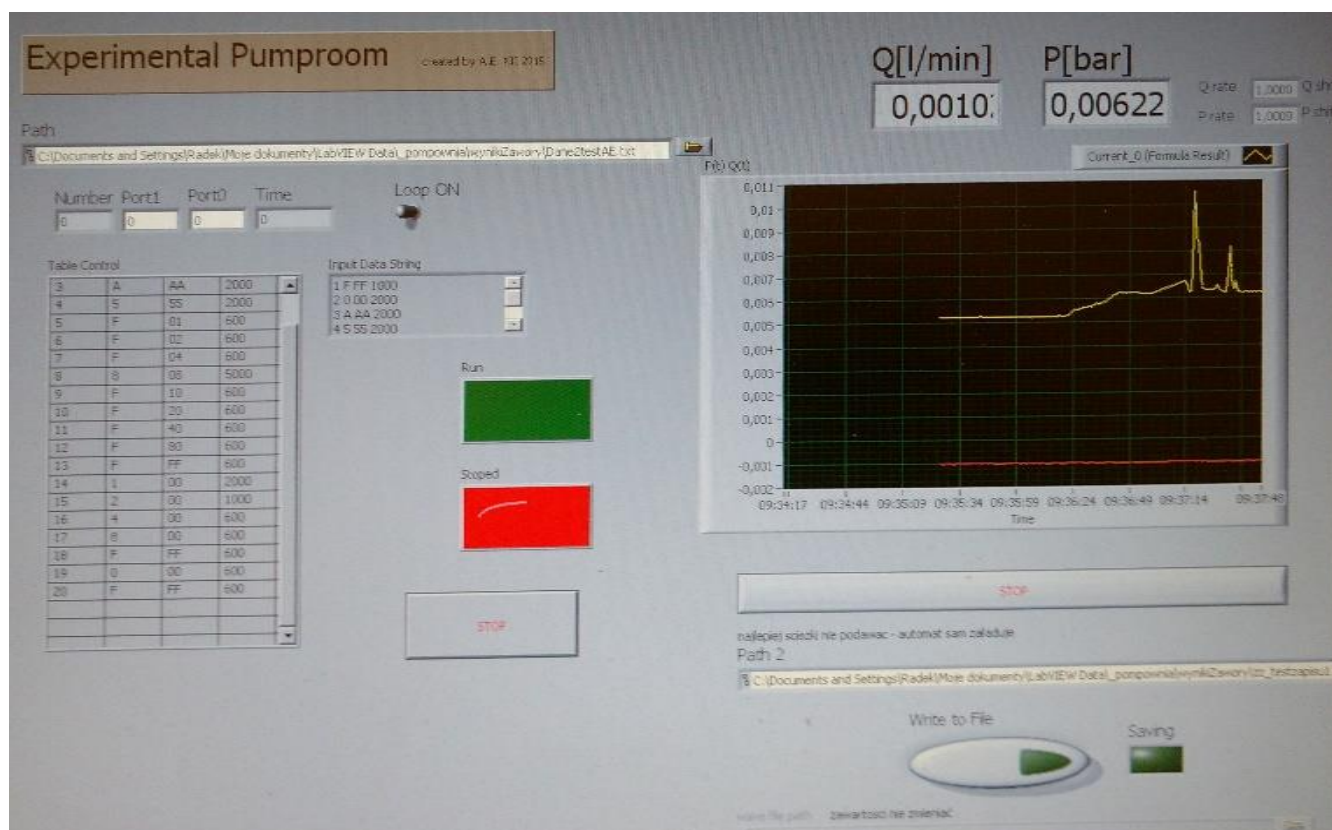
Warto zwrócić uwagę, że kolejne pętle są numerowane, co pozwala na łatwe odliczanie czasu. Wprowadzenie licznika pętli i ich numeracji ma tę zaletę, że w razie zmiany czasu oczekiwania w pętli, nie jest wymagana zmiana algorytmu obliczeń. Ponadto w fazie przy-

gotowania wykresu przez arkusz kalkulacyjny nie trzeba przeprowadzać obliczeń na argumentach typu data-czas. Wystarczy po prostu obliczenia na liczbach typu integer.

Rozpatrując przepływ informacji podczas pomiarów w trakcie jednej pętli pierwszym u góry elementem graficznym jest *DAQ-Assistant*, który określa sposób pobierania danych z otoczenia, symbolizowany przez niego moduł programu jest konfigurowany przed uruchomieniem systemu i niezmienny w trakcie pracy. W trakcie konfiguracji określa się przede wszystkim, z których kanałów wejściowych dane są pobierane, jakie są nastawy wzmacniaczy programowanych, określane jest też czy pomiar jest wykonywany w sposób sekwencyjny i jakie są odstępy czasowe pomiędzy kolejnymi pomiarami w ramach sekwencji.

Kolejny element to selektor rozdzielający strumień danych na kolejne kanały. Dane w kanałach mogą być korygowane w celu uzyskania prawidłowej charakterystyki za pomocą współczynników wzmocnienia oraz przesunięcia liniowego dla każdego kanału oddzielnie. Wartości uzyskane z przetworników analogowych w wyniku niedokładności przetwarzania mogą wykazywać niewielkie wartości ujemne, co z punktu widzenia fizycznego jest bezsensowne. W celu eliminacji tego błędu następuje obcięcie charakterystyki dla wartości mniejszych od ustawialnego minimum. Strumień danych trafiają następnie do obiektu reprezentującego wykres w funkcji czasu.

Duży zespół obiektów w prawym górnym rogu diagramu ma za zadanie zredagować wiersz wydruku. W skład wiersza wchodzi informacja o numerze pętli programowej, ustawieniu portów wyjściowych sterujących zaworami regulacyjnymi i wzmiankowane wcześniej wartości ciśnienia i przepływu. Taki sposób redakcji wiersza daje w sposób ukryty informację o czasie działania algorytmu ze względu na to iż czas powtarzania pętli jest stały i definiowany przez obiekt *Time delay*. Uzupełnieniem diagramu są elementy służące zatrzymaniu procesu pomiarowego, w wyniku albo zakończenia tabeli danych wejściowych, albo też przyciśnięcia wirtualnego przycisku STOP



Rys. 3 Panel sterujący stanowiska pomiarowego.

2.2. Diagram procesu sterowania zaworami

Pętla Algorytmu sterowania zaworami (rys.5) jest poprzedzona jednokrotnym przebiegiem odczytu pliku konfiguracyjnego zadanego w obiekcie Path. Wartość tego obiektu może być predefiniowana albo też zadana z klawiatury. Pojedyncze wiersze zapisu są rozpakowywane w trakcie czytania do tablicy. Pętla algorytmu odczytuje kolejne wiersze z tablicy i przekazuje je do obiektów Port0 oraz Port1 co uruchamia obiekt DAQ assistant 2. Komponent ten może odpowiadać za wprowadzanie danych tak jak pokazano to w przypadku procesu pomiarów, lub też być interfejsem pomiędzy programem, a światem rzeczywistym od strony wyjścia. Obiekt ten jest związany z modułem sprzętowym typu NI USB-6501 będącym zespołem portów wyjściowych wystawiającym cyfrowe wartości słowa wyjściowego. Stan wyjść portów tego modułu jest kierowany do bloku przekaźników wyjściowych bezpośrednio sterujących podawaniem napięcia uruchamiającego zawory regulacyjne. W tym skrótowym opisie działania diagramu pominięto wiele szczegółów realizacyjnych jak np. odcrywanie dźwięków ostrzegawczych z plików wav, czy też opis zależności logicznych służących zatrzymaniu pomiarów i wydruku bez zawieszania systemu. Opis ten miał na celu przedstawić główne funkcje spełniane przez oprogramowanie stanowiska. Niejako przy okazji pokazano inny sposób podejścia do projektowania systemu pomiarowego a jednocześnie programowania innego niż tradycyjne. Jest to pewien obraz tego jak przebiega myślenie konstruktora w trakcie tworzenia wirtualnego przyrządu pomiarowego.

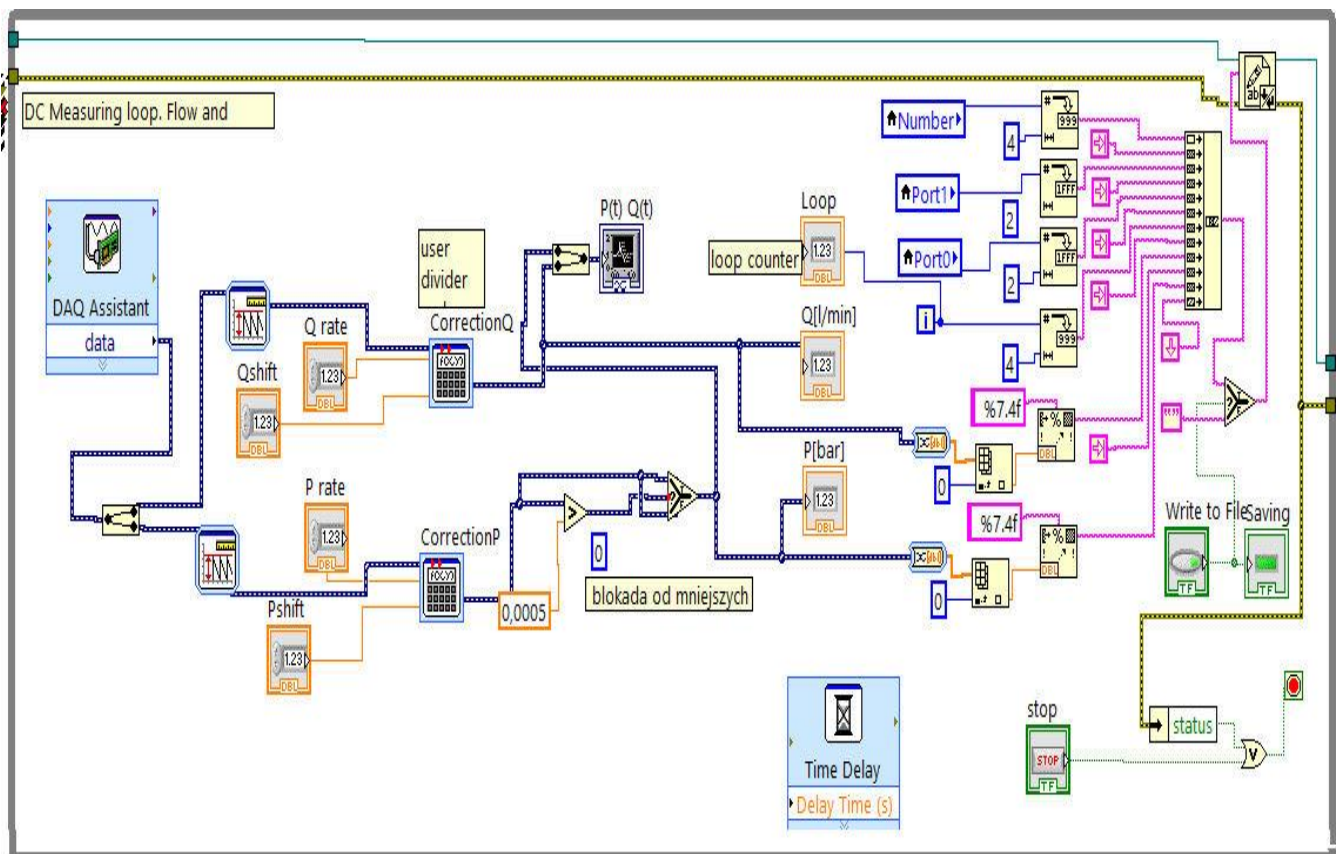
PODSUMOWANIE

Zrealizowane stanowisko pomiarowe jest uniwersalnym narzędziem do badania algorytmów sterowania pompowni i wzbogaciło w

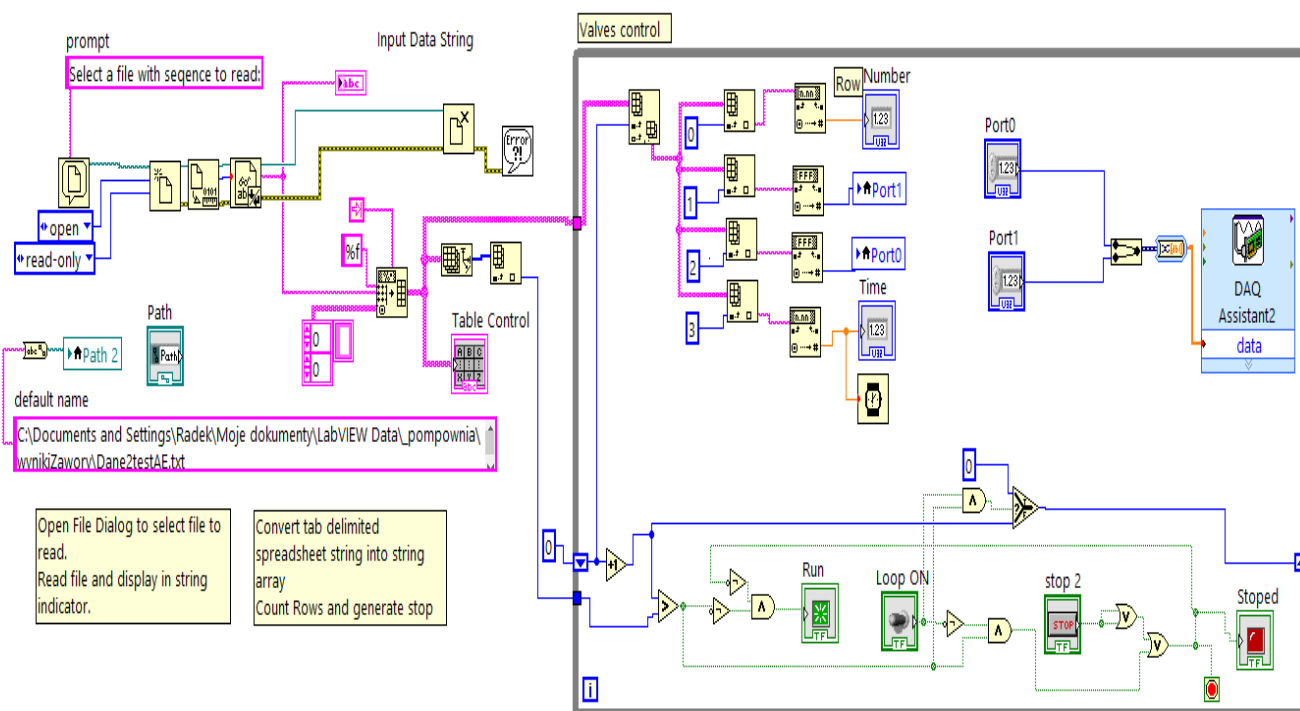
sposób znaczący stan posiadania Laboratorium Odnawialnych Źródeł Energii UTH w Radomiu [3].

Pomiar został w dużym stopniu zautomatyzowany, czas jego wykonania jest niewielki. Skrócenie czasu wykonywania pomiarów pozwala na ocenę efektywności energetycznej zjawisk, które w praktyce trwają po kilka dni. Możliwe jest wyróżnienie charakterystycznych profili rozbioru wody dla poszczególnych dni i pory doby.

Możliwość wczytywania danych do systemu sterowania pomiarami pozwala na odwzorowanie rzeczywistych rozbiorów zarejestrowanych np. przez stacje wodociągowe i na tej podstawie optymalizacji ich systemów sterowania. Zastosowanie LabVIEW do budowy stanowiska pozwala także na uniwersalne wykorzystanie modułów tzn. po odpięciu złącz kasyety można ją wraz z modułami wykorzystać w kolejnych stanowiskach pomiarowych o zupełnie innym przeznaczeniu. Tym samym narzędzie to, (jako system modułów sprzętowych i oprogramowania) jest skutecznym środkiem do ograniczenia wydatków na sprzęt pomiarowy szczególnie w instytucjach o charakterze badawczym. Sam proces programowania w języku graficznym G_Language, w systemie LV, jest dla prostych zadań niezmiernie intuicyjny. W przypadkach trudniejszych konieczne jest znacząco bardziej dogłębne wniknięcie w działanie obiektu abstrakcyjnego przedstawiającego komponent graficzny, co nie zawsze jest dobrze zilustrowane w dokumentacji firmowej i to znacząco przedłuża czas wykonywania projektu. Istotnym ułatwieniem są rozbudowane przykłady dołączane do kolejnych wersji rozwojowych systemu. Ponadto firma National Instruments prowadzi na swoim portalu repozytorium zrealizowanych projektów przesyłanych przez użytkowników LabView



Rys. 4 Diagram procesu pomiarów i wyprowadzania wyniku



Rys. 5. Diagram sterowania zaworami

BIBLIOGRAFIA

1. Bitter R. Mohiuddin T. Nawrocki M., *LabVIEW Advanced Programming Techniques*. Second Edition. CRC Press. New York 2007. ISBN 10: 0 8493 3325 3
2. National Instruments *LabVIEW*. US Corporate Headquarter USA Austin Texas. 2008.
3. Figura R; *Laboratorium Fotowoltaiki – baza badawczo-dydaktyczna dla przemysłu, Logistyka* 6/14 ISSN 1231-5478
4. Noty aplikacyjne – [http:// www.ni.com/data-acquisition](http://www.ni.com/data-acquisition) firmy National Instruments

MODELLING STAND FOR TESTING POMP ROOM CONTROL ALGORITHMS WITH THE USE OF LABVIEW SYSTEM

Abstract

The paper presents appliance to examine the control algorithms used in pomsroom. Control is implemented using LabVIEW. A goal of building is presented and justified the choice of hardware platform. Presented place the graphic language in the programming languages pyramid abstraction, used to build algorithm measurement systems. Block diagram describes the position and course of measurements. Front panel design is proposed and described all the required functionality provided on the screen. In a separate section describes the control flow. The major elements of the diagram describes the operation of the control and signal routing. In conclusion, reference is made to the advantages and disadvantages of graphical programming measuring systems. Also shows the possible applications developed appliance.

Autor:

dr inż. **Andrzej Erd** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu. Wydział Transportu i Elektrotechniki, a.erd@uthrad.pl