

Damian GŁUCHY\*  
Dariusz KURZ\*  
Grzegorz TRZMIEL\*

## WYKORZYSTANIE SYSTEMU SCADA W STEROWANIU PRACĄ ELEKTROCIĘPŁOWNI

W pracy przedstawiono koncepcję wizualizacji funkcjonowania elektrociepłowni z wykorzystaniem systemu SCADA. Dokonano przeglądu funkcjonalności oraz zastosowań systemów SCADA w różnych dziedzinach gospodarki. Zaproponowano aplikację realizującą założone zadania: wizualizacyjne, alarmowe, archiwizacyjne oraz zabezpieczeniowe. Projekt wykonano w środowisku Vijeo Citect 7.40. Ze względu na uniwersalność wybranego systemu zrealizowana aplikacja może być z łatwością wdrożona w wielu elektrociepłowniach bez względu na istniejące w nich już wcześniej układy sterowania.

SŁOWA KLUCZOWE: system SCADA, elektrociepłownia, wizualizacja, sterowanie nadrzędne

### 1. WSTĘP

Wraz z rozwojem technologii pozyskiwania energii elektrycznej i ciepłej od zakładów przemysłowych wymaga się zwiększenia poziomu efektywności inwestycji. Realizacja tego celu odbywa się na różnych płaszczyznach, z których najważniejszą jest automatyzacja i dostosowanie systemu do potrzeb użytkowników. Dawniej najczęściej wdrażano w tym celu monitorowanie i sterowanie z wykorzystaniem tablic synoptycznych w rozbudowanych sterowniach. Obecnie rolę tę przejmują systemy SCADA, które pozwalają na udoskonalenie i wzbogacenie realizowanych w tradycyjny sposób zadań [3]. Otwarte, rozproszone systemy sterowania i wizualizacji charakteryzują się dużymi możliwościami komunikacyjnymi oraz sporym potencjałem w dziedzinie modyfikacji i rozbudowy istniejącego systemu. Cechą charakterystyczną systemu SCADA jest to, że układy regulacji w danym procesie technologicznym mogą działać niezależnie od niego, realizując swoje podstawowe zadania.

---

\* Politechnika Poznańska.

Przykładem rodzaju przedsiębiorstwa, które obecnie prawie zawsze opiera swoje funkcjonowanie o system SCADA jest elektrociepłownia. Złożoność systemu sterowania musi uwzględniać zapotrzebowania na moc elektryczną i ciepłą oraz możliwość późniejszej rozbudowy elektrociepłowni bez konieczności tworzenia aplikacji od nowa. Problem ten, przy zastosowaniu systemu SCADA, praktycznie nie występuje dzięki pełnej skalowalności i dużej uniwersalności tej instalacji.

## 2. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMÓW SCADA

System SCADA (ang. Supervisory Control And Data Acquisition, czyli Sterowanie Nadrzędne i Akwizycja Danych) w praktyce jest realizowany w postaci sieci połączonych serwerów, które archiwizują dane z zarządzanego procesu i wykorzystują je do wizualizacji jego stanu oraz, po ich analizie i przetworzeniu, mogą je wykorzystywać również do sterowania procesem [1].

SCADA jest nadrzędnym systemem komputerowym, zarządzającym urządzeniami przyłączonymi do sieci, takimi jak komputery lub urządzenia dedykowane dla zastosowań przemysłowych. Zapewnia on kontrolę nad urządzeniami o najwyższym priorytecie wykonania. Zazwyczaj urządzenia posiadają własny sprzętowy program, który realizują. Algorytm działania bądź jego parametry mogą zostać zmienione przez programowalny sterownik logiczny (PLC), do którego urządzenie to jest przyłączone. Program sterownika może być stały bądź kontrolowany przez system nadrzędny nad nim, czyli SCADA. W ten sposób uzyskuje się trójwarstwową kontrolę nad realizowanym przez urządzenie zadaniem. Dzięki temu można śledzić aktualne zmiany i reagować na nie, a w przypadku utraty połączenia z resztą systemu rolę tę przejmuje sterownik PLC [3].

Systemy SCADA składają się z dwóch głównych części: sprzętowej oraz aplikacji.

Do architektury sprzętowej zalicza się [4]:

- serwer dedykowany - MTU (ang. Master Terminal Unit), który rozpoczyna wszelkie formy komunikacji, zbiera dane, przechowuje informacje, wysyła informacje do innych systemów i zbiera je od użytkowników. Komunikuje się również z urządzeniami peryferyjnymi takimi jak monitory, drukarki i inne systemy informacyjne. Głównym interfejsem komunikacji MTU z operatorem systemu są monitory lub ekrany dotykowe, na których przedstawiane są na obrazach synoptycznych urządzenia składające się na zarządzany proces. Wraz z aktualizacją danych w systemie, ekrany są odświeżane,

- serwer danych, którego zadaniem jest udostępnianie danych, pozyskanych z urządzeń pomiarowych, stacjom klienckim i innym serwerom. Zwykle dane zostają wcześniej odpowiednio przetworzone,
- urządzenia do zbierania danych. Najczęściej wykorzystywane w tym celu są sterowniki PLC. Mniej popularnym rozwiązaniem jest RTU (ang. Remote Terminal Unit). Zbiera on informacje od różnych urządzeń wejściowych, takich jak pompy, alarmy, mierniki, itp. Dane dostarczane do niego mogą być zarówno analogowe (wartości rzeczywiste), cyfrowe (0 lub 1) jak i pulsacyjne. Wiele jednostek zbiera informacje w pamięci i czeka na żądanie od MTU, aby je przesłać. W bardziej zaawansowanych rozwiązaniach RTU posiada wbudowany mikroprocesor, który może bezpośrednio sterować procesem bez komunikacji z MTU, a w przypadku rozpoznania swojego adresu w węźle odbiera rozkaz od serwera dedykowanego i wykonuje go,
- stacje klienckie, które umożliwiają interakcję użytkownika z systemem. Umożliwiają wizualizację procesu, sterowanie nim, przegląd zdarzeń, reakcję na alarmy czy śledzenie raportów.

W małych sieciach wykorzystuje się jeden serwer realizujący wszystkie funkcje. W większych aplikacjach o dużej ilości danych można rozproszyć przetwarzanie w celu zmniejszenia obciążenia poszczególnych komputerów.

Celem zapewnienia ciągłości w sprawnym działaniu systemu, zaleca się stosowanie redundancji niektórych jego elementów. W systemach SCADA wykorzystuje się redundancje [5]:

- serwera plików:  
W przypadku awarii dane nie są tracone. System w trakcie swojej pracy musi zapisywać dane w dwóch lokalizacjach jednocześnie lub wykonywać synchronizację z aktualnym serwerem zgodnie z planowanym harmonogramem. Dla zapewnienia skutecznej niezawodności serwery podstawowe i redundancyjne należy zasilić z oddzielnych obwodów elektrycznych oraz najlepiej umieścić w oddzielnych pomieszczeniach.
- kanału transmisyjnego:  
Po przerwaniu kanału transmisyjnego sygnał z danego urządzenia może zostać przesłany innym kanałem. Rozwiązanie to jest zalecane szczególnie w przypadku czujników badających parametry czynników o krytycznym znaczeniu dla procesu.
- serwera I/O:  
Zapasowy serwer I/O zapobiega utracie informacji z czujników o aktualnym stanie procesu i zapewnia możliwość wpływu na jego stan. Zasady ostrożności powinny być zachowane, podobnie jak z serwerem plików.
- sieci LAN:  
Uszkodzenie sieci LAN, w zależności od jej konfiguracji, może doprowadzić do braku połączenia systemu z pewnymi jego częściami. Zapewnienie drugiej

sprawnej sieci umożliwia dalszą pracę systemu, dzięki działającej komunikacji.

– serwera:

Serwer główny ma strategiczne znaczenie dla całego systemu. Jego redundancja umożliwia szybkie „podniesienie” całego systemu w przypadku awarii serwera podstawowego, bez zbędnych postojów w realizacji procesu. Zasady ostrożności powinny być zachowane, podobnie jak z serwerem plików.

### 3. ZADANIA I ZASTOSOWANIA SYSTEMÓW SCADA

Funkcje realizowane przez systemy SCADA to [6]:

- gromadzenie i przetwarzanie danych pochodzących z procesu,
- wizualizacja stanu procesu,
- sterowanie,
- alarmowanie i rejestracja zdarzeń,
- archiwizacja danych,
- udostępnianie informacji o procesie w sieciach komputerowych,
- raportowanie,
- zabezpieczenie dostępu (obsługa użytkowników – system uprawnień).

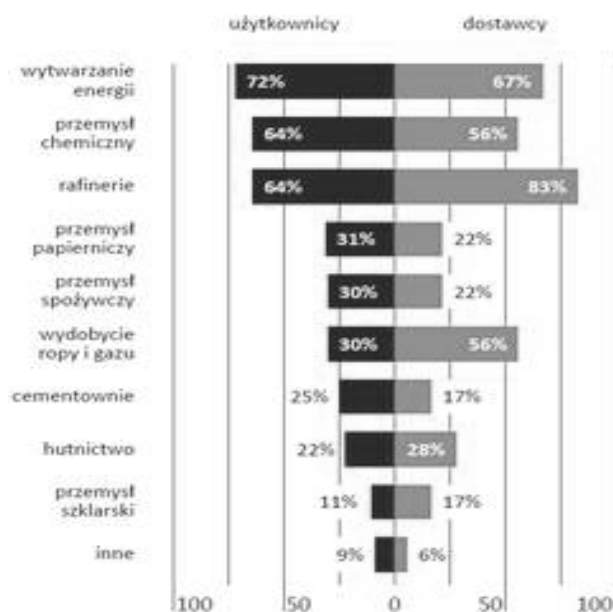
Wykorzystywanie systemu SCADA umożliwia:

- redukcję kosztów operacyjnych,
- zapewnienie aktualnej wiedzy o wydajności systemu,
- poprawę sprawności systemu,
- wzrost żywotności urządzeń,
- zmniejszenie czasu potrzebnego na rozpoznanie uszkodzeń i ich naprawę,
- wykorzystanie przez obsługę czasu na obserwację stanu systemu do wykonywania innych zadań,
- łatwiejsze zarządzanie obiektem, dzięki automatycznie generowanym raportom.

Na rys. 1 zobrazowano główne dziedziny zastosowań systemów SCADA. Dostrzegalna jest tendencja w której zarówno użytkownicy jak i dostawcy (dystrybutorzy) wskazują wytwarzanie energii jako najczęstszy obszar zastosowań systemów SCADA. Opcja „inne” (na rys. 1) zawiera m.in. [7]: przemysł farmaceutyczny, motoryzację, instalacje laboratoryjne, automatykę budynków oraz produkcję elektroniki.

Systemy automatyki są wciąż potrzebne w coraz większej liczbie zastosowań i branż. Istnieje duży wybór rozwiązań oferowanych przez różnych dostawców. Rynek systemów SCADA w Polsce jest wciąż bardzo chłonny. Systemy te, dotychczas kojarzone głównie z zakładami produkcyjnymi i przemysłem, obecnie coraz częściej nadzorują również systemy w sektorze wodno-

kanalizacyjnym, systemy inteligentnych budynków, pracę elektrowni słonecznych, monitorują zużycie energii elektrycznej, a przy tym są coraz łatwiejsze w obsłudze.



Rys. 1. Główne obszary zastosowań systemów SCADA [7]

Przy projektowaniu systemów SCADA można kierować się różnymi kryteriami w zależności od zastanego stanu obiektu lub wymagań inwestora. Wyróżnia się trzy podstawowe podejścia w projektowaniu [3]:

- terytorialne:  
Poszczególne ekrany synoptyczne obrazują informacje dotyczące urządzenia lub ich grupy znajdujących się w nieznaczącej odległości od siebie. Często są zarządzane przez jeden sterownik, co ogranicza komplikację wymiany danych w sieci.
- technologiczne:  
Dane grupowane są ze względu na ich przynależność do danego fragmentu technologii nawet, jeśli pochodzą z odległych od siebie części zakładu, celem przedstawienia w całości informacji dotyczących danego zagadnienia. Powoduje ono większą komplikację wymiany danych w sieci przemysłowej.
- hierarchiczne:  
Operator może przechodzić od ekranów przedstawiających całość procesu do widoków przedstawiających w sposób szczegółowy jego poszczególne wycinki.

#### 4. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

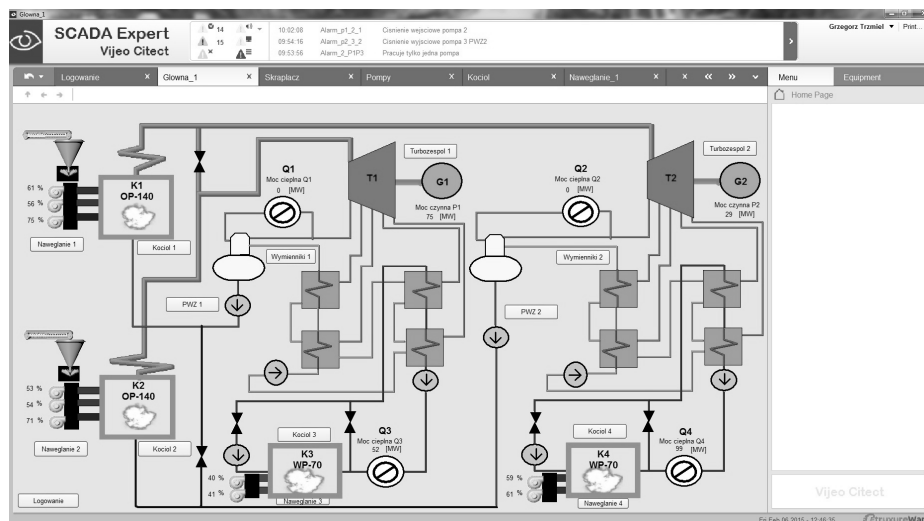
Celem projektu jest stworzenie sytemu SCADA umożliwiającego zarządzanie elektrociepłownią dwublokową.

Przedmiotem opracowania jest elektrociepłownia miejska (komunalna), która dostarcza ciepło do celów grzewczych oraz technologicznych zakładów przemysłowych położonych w jej okolicy. Zapotrzebowanie na ciepło grzewcze jest sezonowe, jednak na ciepło technologiczne zapotrzebowanie występuje przez cały rok. Z tego względu do produkcji zwiększonej ilości ciepła w sezonie jesienno-zimowym wykorzystywane są w każdym bloku dodatkowe wodne kotły szczytowe WP-70 opalane węglem, dla których nakłady inwestycyjne są prawie o ok. 40% mniejsze niż dla wysokoprężnych kotłów parowych OP-140 stosowanych tu, jako kotły podstawowe. W projekcie wykorzystano schematy bloków ciepłowniczych BC-30 z międzystopniowym przegrzewem pary (rys. 2), wykorzystujące skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła. W skład bloku wchodzi kocioł parowy OP-140 o wydajności 140 t/h oraz turbozespół upustowo-przeciwprężny o mocy elektrycznej 30 MW. Podgrzewacze wody sieciowej są zasilane z wylotu przeciwprężnego i z ostatniego upustu. Kocioł wodny WP-70 może dostarczyć ciepło o mocy 80MJ/s. W skład bloku wchodzi także zestaw pomp wody zasilającej oraz system nawęglania [2].

#### 5. PROJEKT SYSTEMU SCADA DLA ELEKTROCIEPŁOWNI

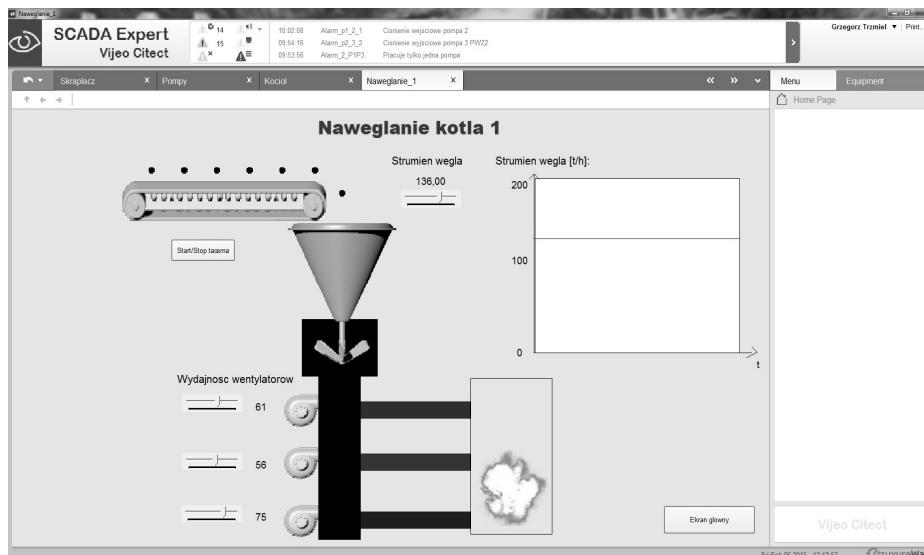
Autorzy zaproponowali przykładową aplikację systemu SCADA w oparciu o najnowszy produkt Vijeo Citect 7.40, który, poza typową funkcjonalnością tożsamą z innymi analogicznymi systemami, wyróżnia się łatwością symulowania pracy rzeczywistego systemu (z konkretnymi sterownikami PLC) z możliwością szybkiego przełączenia na pracę w docelowej lokalizacji. Pozwala to na sprawne testowanie rozwiązań przed ich wprowadzeniem w praktyce oraz na ułatwione prace przy ewentualnej rozbudowie układu sterowania o nowe urządzenia i/lub sterowniki.

- W skład zaproponowanej aplikacji wchodzi następujące ekrany synoptyczne:
- strona logowania: umożliwia zalogowanie, wylogowanie, dodawanie i edycję użytkowników (tylko dla użytkowników z uprawnieniami administratora) oraz zamknięcie aplikacji; na obrazach synoptycznych z rys. 2-5 widoczne są dane zalogowanego operatora – współautora artykułu;
  - strona główna procesu (rys. 2): zawiera widok całego procesu oraz wartości najważniejszych parametrów; przy poszczególnych elementach schematu znajdują się przyciski umożliwiające przejście do odpowiedniej podstrony (karty) zawierającej więcej informacji i poszerzoną możliwość sterowania;



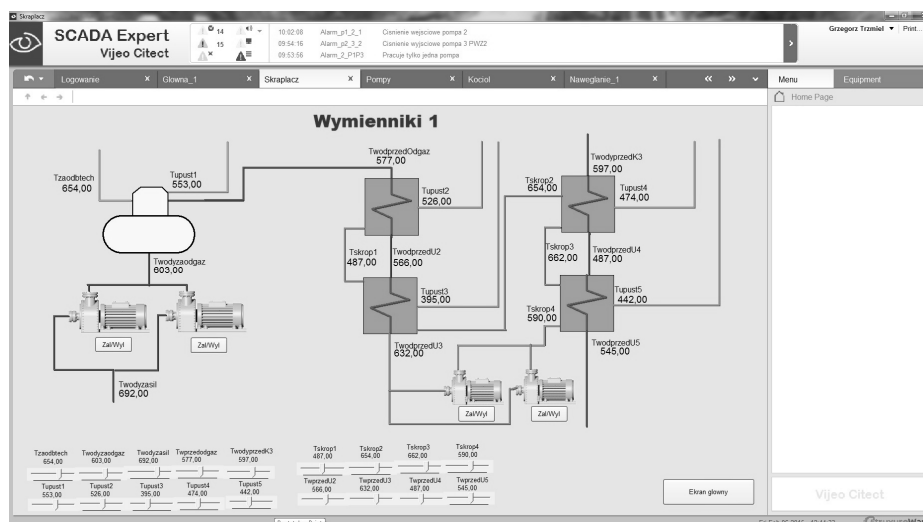
Rys. 2. Ekran główny systemu wizualizacji pracy elektrociepłowni

- strony nawęglania (rys. 3): znajdują się na nich wizualizacje podajników węgla, młynów i wentylatorów; użytkownik ma możliwość załączenia lub wyłączenia taśmy i młyna, może on też ustawić wartości strumienia węgla oraz wydajności, z jakimi mają pracować poszczególne wentylatory; strony te zawierają również rysowane w czasie rzeczywistym przebiegi strumienia węgla;



Rys. 3. Widok ekranu synoptycznego nawęglania kotła nr 1

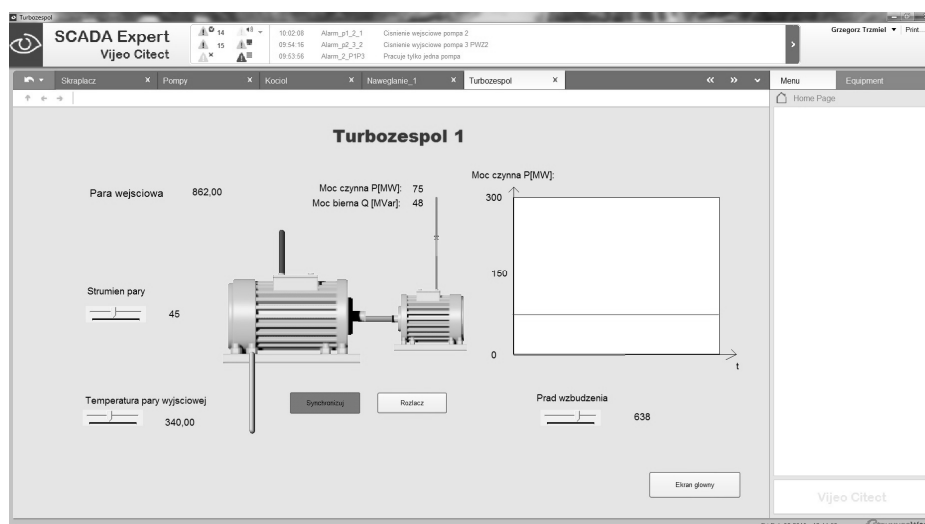
- strony kotłów: znajdują się na nich wizualizacje pracy kotła, wyświetlane są wartości temperatur z czujników: wody wpływającej do kotła, pary wyjściowej, temperatury spalania; z poziomu tej strony możliwe jest załączenie lub wyłączenie palników w kotle oraz podgląd rysowanego w czasie rzeczywistym przebiegu temperatury pary wyjściowej;
- strony pomp wody zasilającej: przedstawiają układy sterowania pompami wody zasilającej; pokazane są odczyty z czujników ciśnienia przed oraz za każdą z pomp, których działanie jest kaskadowe i obsługiwane przez zdarzenia;
- strony wymienników (rys. 4): na tych stronach użytkownik ma możliwość wglądu w pracę wymienników zarówno ciepła technologicznego, jak i ciepła grzewczego; sterowanie pracą wymienników może odbyć się poprzez wpływ na pracę pomp wody zasilającej i pomp skroplin; na stronach przedstawione są wyniki pomiarów z czujników temperatury na wejściu i wyjściu każdego z wymienników oraz odgazowywacza;



Rys. 4. Widok strony wymienników turbozespołu pierwszego

- strony turbozespołów (rys. 5): wyświetlane są na nich wartości z czujników ciśnienia oraz strumienia pary na wejściu i wyjściu turbiny oraz wartości mocy czynnej i biernej; operator ma możliwość ustawienia prądu wzbudzenia generatora, przez który wpływa na aktualną wartość mocy biernej, przez co może odbywać się jej kompensacja; w tle wykonywana jest funkcja obliczająca wartość generowanej mocy czynnej i biernej oraz rysowane są ich przebiegi; znajdują się tam również przyciski do synchronizacji generatora z siecią lub jego odłączenia do pracy indywidualnej;





Rys. 5. Wizualizacja pracy turbozespolu nr 1

- strony alarmów: znajdują się na nich wszystkie zarejestrowane alarmy analogowe oraz cyfrowe, czas ich wystąpienia oraz nazwy zmiennych, które spowodowały ich wystąpienie; przy każdym alarmie analogowym jest przypisany również próg, który spowodował jego wystąpienie.

W projekcie zadeklarowano 34 zmienne procesowe cyfrowe, 92 zmienne procesowe rzeczywiste, 12 zmiennych trendowych, 6 zmiennych alarmowych cyfrowych i 38 zmiennych alarmowych analogowych.

Ponadto zaimplementowano 4 zdarzenia okresowe, które służą do kaskadowego sterowania pompami wody zasilającej w każdym z bloków.

Dodatkowo wprowadzono system przywilejów powiązany z listą docelowych użytkowników (operatorów) oraz skróty klawiszowe, ułatwiające nawigację po poszczególnych stronach systemu.

## 6. PODSUMOWANIE

Celem autorów było przygotowanie projektu systemu SCADA zarządzającego pracą elektrociepłowni. Zagadnienie to zostało zrealizowane przez wykonanie aplikacji w programie Vijeo Citect SCADA. System ten został zrealizowany na pojedynczym komputerze, będącym jednocześnie klientem i serwerem.

Dostęp do systemu jest ograniczony przez system logowania, który jest edytowalny w czasie pracy systemu przez administratora. Na stronie głównej został przedstawiony w sposób ogólny cały obsługiwany proces. Wyświetlane są tylko najważniejsze wartości aktualnie generowanych mocy elektrycznych i ciepłych. Zmiany wprowadzane na podstronach są widoczne na ekranie głównym, co ułatwia

współpracę kilku operatorów. Z poziomu strony głównej nie ma możliwości ingerencji w stan procesu, przez co może służyć do wglądu w system osobom mającym ograniczone uprawnienia.

W projekcie nie uwzględniono ewentualnej części elektrociepłowni odpowiedzialnej za oczyszczanie spalin i odzuzłanie, jednak zaleca się jej implementację w przypadku rozbudowy projektu i jego wdrożenia w praktyce.

Wykorzystanie systemów SCADA jest uzasadnione nawet przy mniejszych sieciach ze względu na możliwość nadrzędnej kontroli nad procesem z wykorzystaniem urządzeń pochodzących od różnych producentów. Wykorzystanie zdarzeń i analiza danych archiwalnych umożliwia także automatyczne zarządzanie procesem w sytuacjach awaryjnych. Koszt realizacji takiego przedsięwzięcia jest stosunkowo niski w porównaniu z cenami urządzeń produkcji, przez co realizacja taka może w dłuższym okresie eksploatacji przynieść znaczące zyski.

## LITERATURA

- [1] Cupek R., Metody wizualizacji rozproszonych procesów przemysłowych, Politechnika Śląska, Gliwice 1998.
- [2] Pawlik M., Strzelczyk F., Elektrownie, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2012.
- [3] Sacha K., Projektowanie oprogramowania systemów sterujących, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
- [4] Tatjewski P., Sterowanie zaawansowane obiektów przemysłowych. Struktury i algorytmy, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2002.
- [5] Zajac J., Rozproszone sterowanie zautomatyzowanymi systemami wytwarzania, Politechnika Krakowska, Kraków 2003.
- [6] [www.citect.schneider-electric.com/scada/vijeo-citect](http://www.citect.schneider-electric.com/scada/vijeo-citect), SCADA Knowledgebase, Schneider Electric, 20.09.2014 r.
- [7] <http://www.controlengineering.pl/typo3temp/pics/2d7bb753e7.jpg>, 29.01.2015 r.

### **USING THE SCADA SYSTEM IN OVERARCHING CONTROL OF COMBINED HEAT AND POWER PLANT OPERATION**

The paper presents the concept of visualizing the operation of combined heat and power plant using the SCADA system. The functionality of SCADA systems and applications in various sectors of the economy was reviewed. The application realizing tasks: visualization, alarm, archiving and protection was proposed. The project was done in the Vijeo Citect 7.40 environment. Because of the universality of selected system, the application can be implemented easily in many power plants irrespective of their existing control systems already.