

# WDRAŻANIE INTELIGENCJI W SIECIACH CIEPŁOWNICZYCH NA PRZYKŁADZIE KONCEPCJI "INTELIĞENTNA SIĘĆ CIEPŁOWNICZA" DLA SPEC S.A.

## WSTĘP

W Polsce tylko w czasie transportu ciepła od producenta (elektrociepłownie, ciepłownie) do odbiorców tracone jest od 10% do 15% wyprodukowanego ciepła, co dla kilku największych krajowych sieci daje wartość na poziomie setek milionów złotych. W większości przypadków, aby to ciepło wyprodukować, należy spalić nieodnawialne paliwo pochodzenia organicznego - a więc uszczuplić zasoby naturalne i zanieczyścić środowisko. Wzorem inteligentnych sieci energetycznych (ang. Smart grid), coraz więcej przedsiębiorstw ciepłowniczych decyduje się na rozpoczęcie prac nad inteligentnymi sieciami ciepłowniczymi, które mają wpłynąć na usprawnienie eksploatacji systemu ciepłowniczego, ograniczyć energochłonność, zmniejszyć ubytki wody sieciowej w procesie przesyłu ciepła do odbiorców oraz umożliwić odbiorcom bieżącą kontrolę zużycia ciepła i wpływanie na oszczędne wykorzystanie ciepła.

## Warszawski System Ciepłowniczy

Warszawski system ciepłowniczy (WSC) jest największym scentralizowanym systemem ciepłowniczym w kraju i jednym z największych w Europie<sup>1</sup>. Początki centralnego ogrzewania sięgają II połowy XX w. Utworzenie Stołecznego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej miało miejsce w 1952 roku. Obecnie zasilany obszar miejski to 190 km<sup>2</sup>, a kubatura zasilanych obiektów to 230 mln m<sup>3</sup>. Ciepło dostarczane jest do 19000 obiektów na terenie Warszawy, pokrywając ok. 80% potrzeb ciepłych stolicy. System ciepłowniczy SPEC S.A. stanowi niemal 1700 km sieci, w tym rurociągi magistralne (o średnicach nominalnych DN ≥ 400) stanowią 18%, rurociągi rozdzielcze 40%, a przyłącza 42%. Moc zamawiana w źródłach to ok. 3700 MW, a moc zamawiana przez odbiorców w SPEC to ok. 5 200 MW. Rocznie za pośrednictwem sieci ciepłowniczej dostarczane jest odbiorcom ok. 10000 GWh ciepła. Straty w sieci i węzłach ciepłych stanowią nieco ponad 10%. W skład przedsiębiorstwa wchodzi siedem Zakładów Energetyki Ciepłej: ZEC Żoliborz, Ochota, Wola, Mokotów, Śródmieście, Praga Północ oraz Praga Południe. ZEC-e zapewniają bieżącą obsługę oraz utrzymanie sprawności technicznej sieci i węzłów ciepłych na swoim terenie.

- warszawski system ciepłowniczy – 1676 km
- system ciepłowniczy w Międzylesiu – 14 km
- system ciepłowniczy w Ursusie – 10 km

Elementami systemu ciepłowniczego pośredniczącymi w przesyłaniu wody sieciowej do odbiorców są przepompownie, które pracują w razie zbyt niskiego ciśnienia oraz przepływu (w miejskiej sieci ciepłowniczej są cztery przepompownie: Batorego, Marymont, Gołędzinów i Powiśle). W skład przepompowni wchodzi armatura, układ sterujący oraz pompy pompujące wodę w rurociągach zasilanych z elektrociepłowni oraz pompujące wodę powrotną. Pompy zapewniają nadciśnienie wody powrotnej na poziomie 1-2 bar.

Ważnym elementem systemu ciepłowniczego jest węzeł ciepły, czyli zakończenie sieci ciepłowniczej w budynku. W Warszawie jest około 15000 węzłów składających się z jednostopniowego wymiennika centralnego ogrzewania oraz dwustopniowego wymiennika ciepłej wody. Każdy węzeł wyposażony jest w licznik ciepła oraz automatykę pogodową, czyli sterownik elektroniczny wykorzystujący czujki temperatury powietrza, wody zasilającej i powrotnej do sterowania ilością wymienianego ciepła. Urządzenie to reaguje na temperaturę zewnętrzną i w ten sposób dopasowuje ilość ciepła dostarczanego do budynku. Należy również wspomnieć o komorach ciepłowniczych, których na terenie Warszawy znajduje się około 5 tysięcy.

<sup>1</sup> "Warszawski system ciepłowniczy a wybrane systemy europejskie"; inż. Mikołaj Włoch, Politechnika Warszawska, inż. Piotr Brzeziński, Politechnika Warszawska; Warszawa, maj 2010; [www.warszawskiecieplo.pl](http://www.warszawskiecieplo.pl)



związane z pompowaniem zależą od natężenia przepływu, a więc są funkcją temperatury zasilania na źródle ciepła i aktualnego zapotrzebowania na ciepło. Minimalizacja tych kosztów jest kolejnym potencjalnym źródłem efektów. Transportując ciepło do odbiorców należy uwzględnić, że rurociąg jest również rodzajem radiatora, który powoduje, iż część transportowanego ciepła jest rozpraszana do atmosfery. Jego ilość zależy od konstrukcji (izolacji) i temperatury czynnika. Temperatura powinna zatem być utrzymywana na poziomie możliwie najniższym, ale jeszcze gwarantującym dostarczenie ciepła o odpowiednich parametrach do odbiorcy oraz dotrzymanie ograniczeń technologicznych. W każdym systemie ciepłowniczym zdarzają się mniejsze lub większe nieszczelności sieci, które skutkują ubytkami wody sieciowej. Tracona woda jest drogą, ponieważ przed wpompowaniem jej do systemu musi przejść kosztowny proces uzdatniania. Ponadto tracąc wodę tracimy również ciepło, którego jest ona nośnikiem. Dysponując odpowiednim wsparciem ze strony systemów IT i rozproszonych systemów automatyki możemy zmniejszać czas potrzebny na zlokalizowanie awarii i odcięcia uszkodzonego fragmentu, co w efekcie spowoduje zmniejszenie kosztów strat. Kolejnymi ważnymi elementami tej metody są: minimalizacja obszaru niezasilonego w ciepło i skrócenie czasu naprawy. Ma to na celu minimalizację strat wynikających z utraconych zysków i prestiżu dostawcy. Oczywiście nieuniknione jest występowanie ubytków wody sieciowej spowodowane nieszczelnościami układu, dlatego konieczne jest jej uzupełnianie. Tu również należy zwrócić uwagę na koszty zakupu wody sieciowej, które zwykle zależą od źródła; w takim przypadku istnieje możliwość minimalizacji kosztów zakupu poprzez uzupełnianie sieci - w miarę możliwości - z tańszego źródła.

Oprócz kosztotwórczych czynników natury technologicznej, kolejną ważną pozycją w budżecie każdego przedsiębiorstwa ciepłowniczego są koszty osobowe. Temat optymalizacji tych kosztów bywa bardzo niepopularny, ponieważ kojarzony jest z wypieraniem ludzi przez cyber-rozwiązania. Bywa on jednak bardzo efektywny ekonomicznie wszędzie tam, gdzie koszty osobowe są bardzo wysokie, a możliwe jest wprowadzenie automatyki. Takim miejscem są przepompownie, które mogą pracować jako obiekty całkowicie bezobsługowe. Wieloletnie doświadczenie uczy, że dodatkowo powoduje to wzrost niezawodności obiektów, ponieważ eliminowane są nieuniknione błędy ludzkie, a to daje dodatkową korzyść.

## Zadania stawiane ISC

Ogólnie, zadaniem ISC jest wspieranie wszystkich procesów, które pozwolą na poprawę efektywności eksploatacji WSC. Pierwszym krokiem przy opracowywaniu koncepcji było zdefiniowanie funkcjonu jakości, który pozwoli na ocenę proponowanych rozwiązań. Ostatecznym kryterium przydatności proponowanych rozwiązań była analiza ekonomiczna i ryzyko związane z wdrożeniem. Analizy takie zostały przeprowadzone w kontekście rozwiązań całościowych, tzn. z uwzględnieniem kosztów, które trzeba ponieść wdrażając proponowane rozwiązania i biorąc pod uwagę ryzyka występujące w łańcuchu zależnych od siebie rozwiązań.

Ciepło - podobnie jak każdy inny produkt - ma dwie cechy: jakość i cenę. Jako miarę jakości ciepła można przyjąć dyspozycję cieplną i hydrauliczną, czyli zdolność dostarczenia odbiorcy takiej ilości ciepła, jakiej w danym momencie potrzebuje. Cena jest funkcją wielu czynników, w tym zależy od następujących kosztów zmiennych:

- Kosztów zakupu
- Kosztów transportu, w tym strat

Możemy zatem wydzielić dwa zadania dla systemów wspomagających eksploatację sieci ciepłowniczych:

- Gwarantowanie jakości – dostarczanie ciepła w potrzebnych ilościach i odpowiednim czasie
- Minimalizowanie wymienionych kosztów – optymalizacja procesu dystrybucji

Jednoczesna realizacja obu zadań stoi względem siebie w pewnej sprzeczności, np. minimalizując ilość zakupionego ciepła nie możemy zaniedbać potrzeb odbiorcy. Natomiast kupowanie niepotrzebnie ciepła w droższym źródle spowoduje jedynie wzrost kosztów. Aby wyeliminować tę sprzeczność przyjęliśmy, że zadanie minimalizacji kosztów może być realizowane tylko pod warunkiem zachowania ograniczeń technologicznych gwarantujących realizację podstawowych funkcji sieci ciepłowniczych, czyli zaspokajania odbiorców w zakresie zapotrzebowania na ciepło. Innymi słowy, celem optymalizacji sieci ciepłowniczego jest minimalizacja kosztów przy zachowaniu ograniczeń decydujących o poprawności jej pracy. W tym przypadku poprawność pracy wymaga zagwarantowania odpowiedniej:

- Dyspozycji cieplnej
- Dyspozycji hydraulicznej

Obie określają minimalne wartości dla – odpowiednio - temperatury i różnicy ciśnień, które gwarantują możliwość dostarczenia odbiorcy takiej ilości ciepła, która wystarczy do wytworzenia u niego komfortu cieplnego. Odbiorca jest tu wspierany przez lokalną automatykę węzła cieplnego, która decyduje o ilości pobieranego ciepła i - by mogła pracować poprawnie - wspomniane minima muszą być zagwarantowane dla każdego węzła cieplnego (punktu poboru) z osobna.

Optymalizacja jest metodą wyznaczania najlepszego (optymalnego) rozwiązania. Jest to poszukiwanie ekstremum pewnej funkcji z punktu widzenia określonego kryterium (wskaźnika) (np. kosztu, temperatury, czasu, itp.).

W przypadku sieci ciepłowniczej, której głównym zadaniem jest transport strumienia ciepła od dostawcy (producenta) do odbiorcy, można rozważać następujące cele optymalizacji:

- Minimalizacja strat ciepła na przesyle
- Minimalizacja kosztów zakupu ciepła
- Minimalizacja kosztów pompowania dla przepompowni sieciowych
- Minimalizacja ubytków wody sieciowej i kosztów skutków awarii
- Minimalizacja kosztów uzupełnień
- Minimalizacja kosztów osobowych związanych z eksploatacją sieci

Wymienione cele zostały określone w projektach wdrożeniowych jakie zaproponowaliśmy do realizacji, aby zbudować na bazie sieci ciepłowniczej SPEC S.A. sieć inteligentną. Podział ISC na projekty wdrożeniowe został wprowadzony tak, aby dokonać analizy efektywności inwestycyjnej. Punktem wyjścia do zdefiniowania projektów wdrożeniowych była możliwość określenia dla każdego z nich bezpośredniego, mierzalnego celu. Określenie mierzalnego celu polegało na zdefiniowaniu pewnego wskaźnika, który pozwolił na etapie prac koncepcyjnych oszacować ilościowo możliwe do uzyskania oszczędności, a następnie po realizacji projektu będzie służył do weryfikacji osiągnięcia celu projektu. Dzięki temu każdy projekt wdrożeniowy wyznacza granice analiz efektywności ekonomicznej. Innymi słowy, każdy projekt wdrożeniowy to precyzyjnie zdefiniowane dostawy i prace konieczne do wytworzenia ISC w określonym zakresie niezbędnym do osiągnięcia postawionego celu.

Koncepcja zakłada, że każdy zdefiniowany w niej projekt wdrożeniowy może być realizowany jako jeden lub wiele projektów inwestycyjnych, których celem będzie realizacja wybranych dostaw i prac. Warunkiem wydzielania projektów inwestycyjnych jest realizacja kompletnej listy dostaw i prac zdefiniowanych w projekcie wdrożeniowym.

Celem wydzielania projektów inwestycyjnych jest lepsze dopasowanie kompetencyjne zakresu projektu inwestycyjnego i potencjalnych jego wykonawców. Projekty inwestycyjne mają wyznaczać granice kontraktowe, które pozwolą lepiej kontrolować przebieg prac w czasie i stopień wykorzystania budżetu. Dopasowanie kompetencyjne powinno mieć również pozytywny wpływ na jakość wytworzonych produktów.

## **INTELIĞENTNA SIĘĆ WYMAGA INTELIĞENTNYCH ELEMENTÓW**

Warszawski system ciepłowniczy to połączone ze sobą elementy, a do najważniejszych należą:

- Źródła ciepła – producenci ciepła i wody sieciowej zasilający sieć zgodnie z wymaganiami dystrybutora (5 źródeł)
- Przepompownie magistralne – przepompownie wytwarzające dodatkowe ciśnienie, jeśli przepompownie w źródłach nie pozwalają na zapewnienie odpowiedniego rozkładu ciśnienia w całej sieci (4 przepompownie)
- Komory ciepłownicze – są miejscem połączenia fragmentów rurociągu, w którym następuje dystrybucja ciepła do poszczególnych obszarów zasilania (5000 komór)
- Węzły cieplne – są punktem, w którym następuje dostawa ciepła, co wymaga rozliczania i dopasowania parametrów nośnika (15000 węzłów)

Ze względu na dużą złożoność, proponowany system ISC wymagał odpowiedniej dystrybucji zadań do rozproszonych podsystemów współpracujących ze sobą tak, aby osiągnąć określoną funkcję celu. Niezależnie od struktury, która silnie zależy od kultury organizacyjnej przedsiębiorstwa, rodzaju procesu i postawionej funkcji celu, komponenty tworzące system muszą się wzajemnie komunikować.

Dostosowanie źródeł do pracy w ISC nie było objęte koncepcją, dalej źródła były traktowane jako miejsce zasilania sieci, w którym – upraszczając - powinny być spełnione wyznaczone w wyniku procesów optymalizacyjnych parametry: ciśnienie i temperatura.

### **Inteligentna przepompownia magistralna**

Z punktu widzenia optymalizacji procesów, przystosowanie przepompowni do pracy w ISC miało na celu:

- Minimalizację kosztów pompowania

#### Umożliwienie pracy bezobsługowej

Zadaniem przepompowni jest utrzymywanie odpowiedniego rozkładu ciśnień w sieci ciepłowniczej. Zadanie to jest realizowane poprzez płynną regulację wydajności i dobór liczby pracujących pomp ciepła. Żeby możliwa była minimalizacja kosztów pompowania, rozwiązania zaproponowane w ramach ISC musiały pozwalać na ustalanie parametrów pracy przepompowni w systemie ciepłowniczym z uwzględnieniem sytuacji panującej na innych obiektach.

Aby zrealizować drugi cel przystosowania przepompowni do pracy w ISC, czyli umożliwić pracę bezobsługową, zakres funkcji realizowanych przez systemy automatyki przepompowni musiał ulec rozszerzeniu o funkcje aktualnie realizowane przez operatorów. Należało więc przewidzieć modernizację istniejącego systemu, aby przepompownie mogły pracować bezobsługowo i były przygotowane do zdalnego sterowania. W tym celu każda przepompownia pracująca w ramach ISC musi realizować następujące funkcje:

- Zdalne sterowanie urządzeniami w celu zapewnienia odpowiednich parametrów czynnika
- Lokalne monitorowanie i sterowanie agregatami pompowymi oraz armaturą z uwzględnieniem wartości zadanych systemu nadrzędnego
- Monitorowanie i sterowanie układem zasilania przepompowni
- Diagnostyka poprawności pracy i monitorowanie gotowości do pracy bezobsługowej
- Pozyskanie wartości, konwersja i walidacja wybranych wielkości mierzonych na przepompowni
- Obliczanie wartości zagregowanych dla pomiarów i wyznaczanie wartości analitycznych
- Odczyt informacji z systemu sygnalizacji włamania i napadu
- Odczyt informacji z systemu zabezpieczenia przeciwpożarowego
- Zdalne monitorowanie i rejestracja z wykorzystaniem telewizji przemysłowej

Realizacja powyższych funkcji zapewnia pełną autonomię, tak by każdy obiekt mógł pracować w przypadku czasowego braku komunikacji oraz stopniową degradację funkcji, by spełnione były podstawowe funkcje przepompowni w przypadku pojedynczych uszkodzeń.

### **Inteligentna komora ciepłownicza**

Kolejnym obiektem w ISC, objętym koncepcją, są komory ciepłownicze. Aby komora ciepłownicza mogła być zintegrowana z ISC, musi oferować odpowiednią i wymaganą przez ISC funkcjonalność, w szczególności zapewniać: przełączania obszarów sieci ciepłowniczej zasilanych przez dane źródło ciepła, zmianę podziału obciążeń źródeł oraz regulację ciśnienia. Wykorzystanie armatury w komorze do stabilizacji ciśnienia w wybranych punktach sieci ciepłowniczej wymagało zaproponowania odpowiednich algorytmów stabilizacji ciśnienia w komorze i umożliwienia zmiany wartości tego ciśnienia przez system nadrzędny.

Do najważniejszych zadań realizowanych przez automatykę komory w ISC należą:

- Pozyskanie wartości, konwersja i walidacja wybranych wielkości mierzonych w komorze
- Obliczanie wartości zagregowanych dla pomiarów i wyznaczanie wartości analitycznych
- Obsługa systemu zasilania komory, w tym również uruchamianie awaryjnych i alternatywnych źródeł zasilania, jak agregat, turbina wodna i wiatrowa, panel słoneczny, itp.
- Bezpośrednie sterowanie armaturą, realizacja algorytmów regulacyjnych i sekwencje operacji związane z przełączeniami na sieci, w tym wykrywanie ubytków
- Detekcja zdarzeń i sytuacji awaryjnych - zdarzenia te są (o ile to możliwe) obsługiwane lokalnie oraz przekazywane do systemów nadrzędnych
- Obsługa dodatkowych zadań związanych z ochroną obiektu
- Komunikacja z systemem nadrzędnym

Pomiary umożliwiają bieżące monitorowanie wybranych parametrów sieci (ciśnień, temperatury, przepływu, itd.) i służą optymalizacji procesów związanych z eksploatacją sieci ciepłowniczej. Oprócz parametrów sieci mierzone są również inne wielkości, które pozwalają zapewnić ciągłość zasilania i chronić obiekt przed skutkami takich niepożądanych czynników, jak włamania, awarie, inne warunki otoczenia. Ze względu na dużą liczbę komór w warszawskim systemie ciepłowniczym (5000

komór), w ramach koncepcji ISC wytypowane zostały komory, które zostaną przystosowane do pracy w ISC. Etapy modernizacji istniejących w systemie komór i automatyzacja kolejnych została podzielona zgodnie ze zdefiniowanymi projektami wdrożeniowymi, a co za tym idzie z wykorzystaniem komór do realizacji określonych funkcji celu.

## Inteligentny węzeł ciepłny

Kolejnym elementem ISC jest węzeł ciepłny, który ma szczególne znaczenie dla procesów optymalizacyjnych, ponieważ to w nim trzeba zapewnić warunki dyspozycyjne, aby można było zaspokajać zapotrzebowanie odbiorców na ciepło. Problem w tym, że w warszawskim systemie ciepłowniczym węzłów jest kilkanaście tysięcy. Przy dostosowaniu węzłów do potrzeb ISC, braliśmy pod uwagę to, że są one wyposażone w liczniki ciepła i regulatory pogodowe. Szczególnie interesującym źródłem informacji z punktu widzenia możliwości osiągnięcia celów optymalizacji są liczniki ciepła, które dostarczają informacji o aktualnych temperaturach, mocy obciążenia i przepływie. Dostęp do bieżących wartości tych informacji jest warunkiem koniecznym realizacji procesów optymalizacji. Jednak wartości te mogą być dostępne tylko wtedy, gdy liczniki zostaną wyposażone w odpowiednie moduły komunikacyjne, które pozwolą podłączyć je do wybranej sieci komunikacyjnej zapewniającej transport danych do systemu sterowania nadrzędnego. Ponieważ nie dostarczają one pomiarów ciśnienia, dodatkowo należało przewidzieć podłączenie niezależnie realizowanych pomiarów ciśnień w wybranych miejscach sieci.

Zdalny odczyt liczników wdrażany w celu automatyzacji procesów rozliczania odbiorców jest rozwiązaniem już stosowanym. Warunkiem koniecznym wykorzystania go w ISC jest udostępnianie z niego danych pomiarowych w czasie rzeczywistym i przekazywanie ich do systemów optymalizacyjnych i automatyki przemysłowej. W tym celu należało przewidzieć wyposażenie go w odpowiedni interfejs komunikacyjny akceptowany przez te systemy.

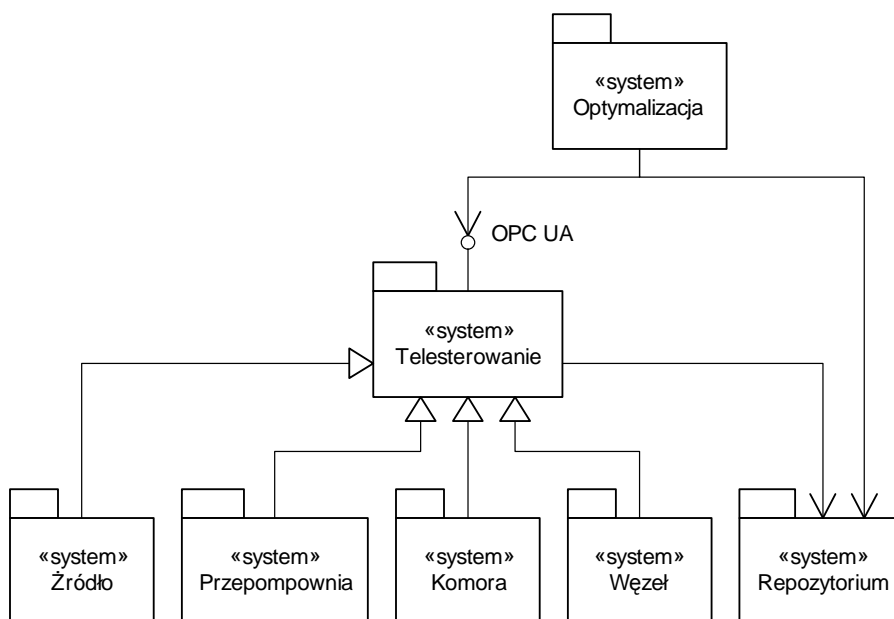
Tu należy podkreślić, że ważnym wnioskiem z przeprowadzonych analiz jest postawienie tezy, że dla wdrożenia zdalnego odczytu ciepłomierzy (rozwiązanie klasy inteligentny pomiar – ang. smart metering) celem bezpośrednim jest optymalizacja, natomiast automatyzacja rozliczania odbiorców jest istotnym, ale tylko celem pośrednim – efektem ubocznym.

## ARCHITEKTURA ISC

Aby umożliwić projektowanie i analizę tak skomplikowanego systemu, jakim jest ISC, konieczne było wydzielenie w nim pewnych grup funkcji logicznie ze sobą powiązanych z wykorzystaniem koncepcji systemów składowych. Każdy taki system musi cechować dobrze zdefiniowana granica funkcjonalności. Te systemy - aby mogły realizować swoje funkcje - muszą się komunikować tworząc wzajemne powiązania. Wzajemne powiązania systemów zredefiniowały strukturę wewnętrzną całego ISC. Podział na systemy i struktura określona wzajemnymi relacjami stworzyła architekturę systemu ISC.

Poniższy rysunek pokazuje architekturę Inteligentnej Sieci Ciepłowniczej (ISC). Wyróżniono w niej następujące systemy składowe:

- Optymalizacja:** regulacja i optymalne sterowanie procesami technologicznymi
- Telesterowanie:** sterowanie obiektami i komunikacja
- Repozytorium:** zarządzanie centralnym repozytorium danych technologicznych



Architektura wewnętrzna systemu ISC

System *Telesterowanie* reprezentuje wszystkie funkcje odpowiedzialne za sterowanie obiektami ciepłowniczymi i zdalny dostęp do danych procesowych. Jak pokazano na rysunku, rozszerzeniami (strzałka z grotem zamkniętym:  $\longrightarrow$ ) systemu *Telesterowanie* są podsystemy reprezentujące zintegrowane z ISC, wcześniej omówione obiekty:

- Przepompownia*: lokalne sterowanie i pomiary w przepompowniach
- Komora*: lokalne sterowanie i pomiary w komorach ciepłowniczych
- Węzeł*: pomiary w węzłach ciepłych
- Źródło*: pomiary w źródłach

Wszystkie wymienione wyżej systemy składowe są autonomiczne, tzn. muszą realizować swoje funkcje bez komunikacji z systemem *Telesterowanie* na wypadek chwilowego jej zaniku w wyniku awarii. Jednocześnie jednak stanowią integralną część tego systemu, co powoduje, że *Telesterowanie* jednolicie reprezentuje stan obiektów sieci ciepłowniczej i dostępne funkcje przeznaczone do sterowania nimi.

Ponieważ system ten odgrywa w architekturze rolę elementu centralnego, powinien udostępniać dane procesowe i funkcje w ujednoczony sposób, zgodny z pewnym standardem międzynarodowym. W omawianej architekturze przyjęto, że zostanie tu wykorzystany OPC Unified Architecture (interfejs *OPC UA* na rysunku).

Aby można było analizować zachowanie się procesu technologicznego w czasie, dane procesowe reprezentujące jego aktualny stan są archiwizowane za pośrednictwem systemu *Repozytorium*. *Repozytorium* zarządza danymi archiwalnymi i udostępnia je procesom realizowanym w systemie *Optymalizacja*. Otwarte strzałki ( $\longrightarrow$ ) na rysunku pokazują sposób wykorzystania, a nie przepływ danych. Za archiwizowanie danych procesowych w repozytorium odpowiada system *Telesterowanie*.

Jednym z podstawowych zadań systemu *Telesterowanie* jest zapewnienie dostępu do danych procesom w systemie *Optymalizacja*. Procesy działające w ramach systemu *Optymalizacja* mogą generować wartości, które za pośrednictwem systemu *Telesterowanie* są wykorzystywane do sterowania obiektem albo archiwizowane przez system *Repozytorium*.

Aby zapewnić stopniową migrację do docelowej architektury pokazanej na rysunku należy przyjąć założenie, że eksploatacja sieci ciepłowniczej bez systemu *Optymalizacja* i *Repozytorium* jest możliwa. W związku z tym założeniem, system *Telesterowanie* musi co najmniej oferować funkcje wizualizacji procesu technologicznego w zakresie umożliwiającym dyspozytorowi podejmowanie decyzji operacyjnych.

## Repozytorium

*Repozytorium* pełni rolę centralnej bazy danych technologicznych i oferuje innym systemom nowoczesne i wydajne usługi w zakresie zarządzania danymi archiwalnymi.

Podstawowym źródłem danych zapisywanych w *Repozytorium* jest podsystem *Telesterowanie*, który deponuje bieżące dane procesowe w archiwum. Dane są zapisywane cyklicznie, aby umożliwić odtworzenie przebiegu procesu technologicznego w czasie. Cykl zapisu jest określony w systemie *Telesterowanie* przez cykl pozyskiwania danych. Proces archiwizacji jest realizowany w sposób automatyczny i tam, gdzie jest to możliwe, bez udziału czynnika ludzkiego. W przypadku, gdy pozyskanie danych w procesie *Telesterowanie* jest niemożliwe, dyspozytor musi mieć również możliwość wpisywania danych (uzupełniania) na podstawie informacji pozyskanych spoza systemu.

Warto tu podkreślić, że dla rozpatrywanej klasy zastosowań awarie torów pomiarowych, będących głównym źródłem danych, są zjawiskiem nieuchronnym. Uzupelnianie danych w takim przypadku często pozwala na realizację głównych funkcji procesów w innych systemach i uniknięcie ponoszenia skutków zatrzymania ich z błahych powodów. Dobór algorytmów uzupełniania danych musi uwzględniać wpływ szacunkowych danych na wspomniane procesy. Jeśli jest to niemożliwe, ewentualne uzupełnianie danych należy przenieść do poszczególnych procesów, co może w konsekwencji degradować wydajność w przypadku konieczności wielokrotnego powtarzania obliczeń.

Beneficjentami systemu *Repozytorium* mogą być również systemy spoza ISC, dzięki mechanizmom importu i eksportu danych.

## Telesterowanie

Zgodnie z architekturą systemu ISC wyróżniono system *Telesterowanie*, który musi oferować następujące funkcje:

- Komunikacja* – komunikacja z obiektami odległymi i pozyskiwanie z nich danych
- Rejestracja* – archiwizacja aktualnych danych procesowych
- Zarządzanie* – konfiguracja i diagnostyka systemu

*Komunikacja* jest odpowiedzialna za zarządzanie infrastrukturą komunikacyjną i odczytywanie danych z poszczególnych systemów. Zarządzanie danymi jest bardzo ważne z uwagi na niezawodność systemu, koszty transmisji i opóźnienia. Niezawodność jest elementem krytycznym dla procesów sterowania. Brak łączności oznacza, że obiekt przestaje być sterowalny, co w niektórych sytuacjach może doprowadzić do ogromnych kosztów. Media komunikacyjne mogą mieć wiele cech, ale w każdym przypadku można wyznaczyć pewien parametr określający koszt transmisji danej, który powinien być minimalizowany przez tę funkcjonalność. Przepustowość jest ograniczeniem, które ma wpływ na dostępność do aktualnych danych. Nie wszystkie dane w danej chwili są tak samo ważne. Ważność danych może się zmieniać w czasie. Te czynniki powinny być brane pod uwagę przy szeregowaniu w czasie procesu odczytu.

Realizacja funkcji *Komunikacja* musi uwzględniać konieczność wykorzystywania różnych mediów komunikacyjnych i protokołów komunikacyjnych. Również postać danych może być różna w zależności od producenta urządzeń użytych w ramach systemów oddalonych.

Oprócz danych pochodzących z innych systemów, funkcja *Komunikacja* powinna zapewnić publikowanie danych z systemów zewnętrznych. Przykładem jest tu prognoza pogody, która zwykle jest dostępna z serwera FTP.

Dane pomiarowe są ulotne, tzn. pomiar można powtórzyć, ale otrzymana dana już jest nowa. Mówimy, że pomiary mają wartość i związane z nią atrybut czasu. Aby móc analizować zachowanie się procesu technologicznego w czasie, wszystkie dane pomiarowe i te, które zostały wyznaczone z danych pomiarowych, muszą być archiwizowane. Odpowiedzialna jest za to funkcja *Rejestracja*, która wykorzystuje system *Repozytorium* do zapisania wybranych danych w jego archiwum.

Aby zagwarantować otwartość rozwiązania przyjęto, że omawiany system będzie udostępniał dane z wykorzystaniem standardu OPC Unified Architecture.

## Optymalizacja

Zadaniem systemu *Optymalizacja* jest wspieranie:

- Eksploatacji - zgodnie z opisanymi wcześniej metodami optymalizacji
- Kontroli przebiegu eksploatacji, w tym procesów optymalizacji
- Komunikacji pomiędzy dyspozytorami producenta i dystrybutora ciepła

System *Optymalizacja* odpowiada za realizację opisanych wcześniej metod optymalizacji z wykorzystaniem dostępnych rozwiązań oferowanych przez sztuczną inteligencję.

Założono, że do kontroli poprawności pracy sieci jego użytkownicy będą korzystali z interfejsu graficznego. Warto tu podkreślić, że interfejs ten powinien obrazować poprawność procesów zachodzących w obiektach sieci ciepłowniczej, a nie tylko ich stan. Aby spełnić ten warunek, system oferuje użytkownikom dwa typy interfejsów:

- ❑ *Tablica synoptyczna* - wizualizacja procesu z wykorzystaniem uproszczonej symboliki graficznej
- ❑ *Geospatial* - wizualizacja procesu z wykorzystaniem map do lokalizacji infrastruktury i pomiarów, np. rozkład temperatury w poszczególnych obszarach sieci

## OPC UA w architekturze ISC

OPC Unified Architecture to zbiór specyfikacji stosowanych do tworzenia oprogramowania związanego z systemami, takimi jak ERP, MES czy systemami sterowania procesami technologicznymi. To właśnie te systemy są przeznaczone do wymiany informacji i używane do sterowania oraz nadzoru nad procesami przemysłowymi czasu rzeczywistego. OPC UA definiuje wspólną infrastrukturę modelu w celu ułatwienia wymiany informacji. Cała architektura nowego standardu zwiększa dotychczasowe możliwości OPC w zakresie bezpieczeństwa aplikacji, stabilności, śledzenia zdarzeń i zarządzania danymi, a co za tym idzie - poprawia interoperacyjność elementów tworzących architekturę rozproszoną. OPC UA pozwala na wprowadzenie łatwiejszej współpracy i wymiany danych pomiędzy warstwą procesową, operacyjną i biznesową. Zaprojektowano go tak, by wspierać szeroką gamę urządzeń począwszy od najniższego piętra, na którym znajdują się sterowniki PLC, aż do rozproszonych systemów zajmujących się zarządzaniem w przedsiębiorstwie.

Warto zwrócić uwagę na to, że technologia OPC UA bazuje na usługach i obiektach. Twórcy oprogramowania od ponad dekady korzystają z rozwiązań opartych o obiekty i usługi, ale nigdy nie przenoszono tych rozwiązań bezpośrednio do zastosowań przemysłowych. OPC Unified Architecture stało się pierwszym, znajdującym się blisko procesu technologicznego standardem mającym dwoistą naturę, zorientowaną zarazem obiektowo (Object Oriented Architecture - OOA) jak i usługowo (Service Oriented Architecture - SOA).

Zastosowanie standardu OPC Unified Architecture w architekturze ISC pozwoli na:

- ❑ Standaryzację komunikacji pomiędzy systemami wchodzącymi w skład ISC
- ❑ Stworzenie spójnego, dostępnego dla wszystkich systemów modelu informacyjnego odzwierciedlającego budowę warszawskiego systemu ciepłowniczego
- ❑ Stworzenie modelu bazy danych opartego o model informacyjny OPC UA, dzięki czemu aplikacje korzystające z *Repozytorium*, będą miały dostęp nie tylko do danych procesowych, ale również do metadanych opisujących obiekty warszawskiego systemu ciepłowniczego
- ❑ Zapewnienie otwartości rozwiązań, więc możliwość swobodnego podłączania w przyszłości kolejnych komponentów

## PODSUMOWANIE

Opracowana przez firmę CAS koncepcja Inteligentnej Sieci Ciepłowniczej jest kompleksowym rozwiązaniem bazującym na synergii najnowszych osiągnięć technologii, automatyki, informatyki, telekomunikacji do sterowania procesem technologicznym w sieciach ciepłowniczych w celu poprawienia efektywności procesów biznesowych. Zastosowanie standardu OPC UA pozwoli na uzyskanie otwartej i skalowanej architektury, dzięki czemu istnieje możliwość rozbudowy infrastruktury i wykorzystania jej przyszłościowo w innych zadaniach.

<p>CAS 90-441 Łódź, al. Kościuszki 103/105 tel/fax: +48 (42) 6862547; +48 (42) 6865028</p>
--

<p><a href="http://www.cas.eu">www.cas.eu</a> <a href="http://www.commsvr.com">www.commsvr.com</a> <a href="mailto:techsupp@cas.eu">techsupp@cas.eu</a></p>
---