



Wzorcowy

074

A

ZESPÓŁ AUTOMATYKI ELEKTRONICZNEJ

Nazwa ONB/ZNB

Główny wykonawca

mgr inż. Tadeusz Goszczyński

Wykonawcy:

doc.dr inż. Jacek Korytkowski

Opracowanie koncepcji i wstępnej, szacunkowej oceny oszczędności dla zdecentralizowanego systemu energooszczędnego sterowania ogrzewaniem c.o. w pomieszczeniach - KALOR.

DOKUMENT WZORCOWY

(Tytuł pracy, numer i tytuł etapu)

KBN

Zleceniodawca

Kierownik Zespołu

doc.dr inż. J. Korytkowski

Z-ca Dyrektora  
d/s Bad.-Rozwojowych

dr inż. Jan Jabłkowski

15.06.1999r.

Pracę zakończono dnia

Nr arch. 7665

Nr zlecenia S1912

Analiza deskrytorowa

**STEROWANIE OGRZEWANIEM**

Abstrakt

Praca zawiera: opracowanie koncepcji i wstępnej, szacunkowej oceny oszczędności dla zdecentralizowanego systemu energooszczędnego sterowania ogrzewaniem c.o. w pomieszczeniach

Tytuły poprzednich sprawozdań

nie było

Rozdzielnik

Egz. 1. .... **OIN** .....

Egz. 2. .... **ZAE-3** .....

Egz. 3. .... **ZAE-1** .....

## **Spis treści.**

1. Opis ogólny.
2. Analiza możliwości technologicznych indywidualnego sterowania dostawą ciepła do pomieszczeń w budynkach użyteczności publicznej ze szczególnym uwzględnieniem szkół.
3. Analiza efektywności ekonomicznej indywidualnego sterowania dostawą ciepła do pomieszczeń w budynkach użyteczności publicznej ze szczególnym uwzględnieniem szkół.
4. Ocena dzisiejszych możliwości zastosowania sieci LonWorks w sterowaniu ogrzewaniem c.o.
5. Wybrane urządzenia LonWorks stosujące transmisję po liniach energetycznych 220V.
6. Podsumowanie.

## 1. Opis ogólny.

System sterowania ogrzewaniem pomieszczeń ma za zadanie zdalne lub lokalne proste i efektywne kontrolowanie i sterowanie przepływem gorącej wody przez poszczególne grzejniki w obiektach o nieregularnym użytkowaniu pomieszczeń. System będzie wykorzystywał sterowniki wykonane w technologii LonWorks wykorzystujące do transmisji kable sieci energetycznej 220V. System uzupełnią zainstalowane w grzejnikach sterowane elektrycznie zawory. Oprogramowanie systemowe umożliwi automatyczne zmiany nastaw zaworów w zależności od zaprogramowanego harmonogramu używania pomieszczeń. System umożliwi dołączanie do niego innych czujników np. jasności, temperatury, otwarcia okna lub obecności osób w pomieszczeniu i programowanie dowolnych zależności funkcjonalnych pomiędzy sygnałami czujników i sterowników.

Rosnący koszt ogrzewania systemami c.o. zachęca użytkowników większych obiektów do inwestowania w systemy zapewniające oszczędność energii. Duże oszczędności energii można uzyskać poprzez zmniejszenie ogrzewania poszczególnych pomieszczeń obiektu w okresach, gdy nie są one używane. Systemy takie nie są obecnie instalowane w istniejących obiektach, ze względu na duży koszt wprowadzenia systemu wymagającego remontu pomieszczeń w rezultacie zmian instalacji. Dzięki zastosowaniu w systemie KALOR urządzeń najnowszej generacji - rozproszonego systemu sterowania i transmisji po kablach energetycznych, koszt instalacji systemu będzie znacznie niższy. Technologia sieci przemysłowych LonWorks stanowi sieć zgodną z otwartym siedmiowarstwowym modelem OSI, umożliwiającą współpracę użytkowników na zasadzie równych uprawnień. Umożliwia ona wymianę informacji pomiędzy urządzeniami przy pomocy różnych mediów transmisyjnych w jednej instalacji w tym transmisję po istniejących przewodach energetycznych sieci zasilającej 220V. Pozwala to na prawie całkowitą eliminację kabli obiektowych, a sygnały pomiędzy wszystkimi urządzeniami układu automatyki mogą być przenoszone wyłącznie drogą transmisji sygnałów cyfrowych. Możliwe jest między innymi bezpośrednie sprzężenie elementów pomiarowych i członów wykonawczych ze stacją operatorską z pominięciem warstwy regulatorów i przetworników. Systemy automatyki z sieciami LonWorks mają strukturę rozproszoną, w której poszczególne urządzenia realizują własne programy użytkowe.

Zachowana zostanie przy tym otwartość systemu oraz możliwość współpracy z sieciami i stacjami nadrzędnymi. Urządzenia systemu pozwolą na kompleksowe rozwiązanie zadań

automatyzacji w zakresie realizacji średnich i małych układów automatycznej regulacji i sterowania, przy wymaganych kosztach znacznie niższych od kosztów ponoszonych przy stosowaniu zagranicznych systemów i urządzeń automatyzacji.

**2. Analiza możliwości technologicznych indywidualnego sterowania dostawą ciepła do pomieszczeń w budynkach użyteczności publicznej ze szczególnym uwzględnieniem szkół.**

Patrz Załącznik nr 1.

**3. Analiza efektywności ekonomicznej indywidualnego sterowania dostawą ciepła do pomieszczeń w budynkach użyteczności publicznej ze szczególnym uwzględnieniem szkół.**

Patrz Załącznik nr 2.

**4. Ocena dzisiejszych możliwości zastosowania sieci LonWorks w sterowaniu programowo - czasowym ogrzewaniem c.o.**

Bogate oprogramowanie protokołu LonTalk sieci LonWorks powoduje, że nawet w małych układach automatyki przewaga tego systemu nad popularnym i tanim interfejsem RS485 jest od razu widoczna. Wynika ona z istniejącej rzeczywistej normalizacji oprogramowania wszystkich urządzeń LonWorks we wszystkich 7 warstwach oprogramowania zgodnych z modelem OSI. W szczególności widoczne dla użytkownika jest stosowanie znormalizowanych zmiennych sieciowych, obiektów i profili. Procesor komunikacyjny automatycznie wysyła przesyłki, gdy program przypisze nową wartość zmiennej przeznaczonej do transmisji tzw. zmiennej sieciowej np. po zmianie stanu wejścia lub zmianie wartości zmierzonej temperatury. Zmienne sieciowe odzwierciedlają konkretne wielkości fizyczne w znormalizowanej formie (np. temperatura jest zawsze przesyłana w jednostkach  $0,1 \text{ } ^\circ \text{K}$ ). Obiekty to zestawy zmiennych realizujące określoną funkcję np. czujnika lub sterownika czy regulatora. Profile - to obowiązkowe dla wszystkich producentów zestawy funkcji i zmiennych sieciowych w ich urządzeniach. Zestawy te są definiowane dla każdego typu urządzenia, tak by

wszystkie konieczne informacje mogły być uzyskane poprzez sieć niezależnie od producenta i aby np. regulator temperatury firmy X mógł być bez problemu zastąpiony regulatorem firmy Y. Urządzenia spełniające te wymagania oprogramowania aplikacyjnego uzyskują znak LonMark. Urządzenie konfigurujące sieć ( na ogół komputer PC z odpowiednim oprogramowaniem ) pozwala wybierając myszką z zestawu zmiennych w wybranym urządzeniu połączyć każdą z nich logicznie z odpowiednią zmienną w innym urządzeniu, tak by np. regulator czytał wartości temperatury z odpowiednich węzłów - czujników temperatury. Współpraca urządzeń wyprodukowanych w różnych firmach bez konieczności wykonywania żadnego dodatkowego oprogramowania została sprawdzona i potwierdzona w PIAP - Warszawa badaniami instalacji utworzonej z 30 węzłów zakupionych od 6 różnych producentów

Możliwości zastosowania technologii LonWorks.

Wdrażanie technologii LonWorks w Polsce powinno moim zdaniem przebiegać jednocześnie trzema drogami:

- opracowanie nowych lub przekonstruowanie produkowanych już urządzeń z wykorzystaniem mikro-układu NEURON jako głównego procesora;
- uzupełnienie konstrukcji produkowanych urządzeń o interfejs LonWorks;
- tworzenie systemów automatyki złożonych z gotowych urządzeń produkowanych za granicą.

Produkowanie urządzeń systemu LonWorks wymaga posiadania zestawu uruchomieniowego LonBuilder firmy Echelon, którego cena wynosi około 75 tys. zł. Zestaw ten umożliwia ładowanie programu aplikacyjnego do pamięci urządzenia, uruchomienie zestawów z symulacją urządzeń LonWorks, konfigurowanie sieci i badanie właściwości pracującej sieci LonWorks. Koszt elementów składowych niezbędnych do wykonania każdej sztuki urządzenia w standardzie LonWorks to: mikro-układ Neuron: 30 - 45 zł, nadajnik/odbiornik: 60 - 80 zł ( dla transmisji po sieci 220V - 182 zł ). Gotowy uruchomiony moduł uniwersalny zawierający te 2 elementy a ponadto, pamięć i inne niezbędne układy - około 300 zł. Istnieje także możliwość zamówienia specjalizowanego mikro-układu

zawierającego oprócz Neurona dodatkowe elementy np. przetwornik a/c lub układy wejść/wyjść obiektowych.

Interfejsy LonWorks do produkowanych już urządzeń automatyki zawierających dowolnego typu procesor mogą być wykonywane przy pomocy zestawu uruchomieniowego MIP/DPS kosztującego około 20 tys. zł poprzez dodanie do własnej konstrukcji typowego zestawu elementów LonWorks. Innym sposobem jest zakup zestawu do programowania węzłów sieci LonWorks typu NodeBuilder za około 16 tys. zł i gotowych podzespołów interfejsowych na małej płytce ze złączem za ok. 300 zł za sztukę. Interfejs można oprogramować kupując gotowe "drivery" dla stosowanego w urządzeniu procesora u niezależnych producentów oprogramowania.

Integracja systemu automatyki opartego na sieci kupionych gotowych urządzeń LonWorks wymaga zakupu zestawu do konfigurowania LonMaker za nieco poniżej 3 tys. zł. Zestaw składa się z oprogramowania przeznaczonego do instalacji na komputerze PC oraz interfejsu w postaci karty do komputera lub oddzielnego interfejsu SLTA/2 dołączanego do wyjścia szeregowego COM komputera. Komputer ten jest dołączony do sieci LonWorks tylko w trakcie jej konfigurowania, w czasie normalnej pracy systemu automatyki nie jest konieczne stosowanie żadnego komputera, programy pracy urządzeń są umieszczone w ich własnych pamięciach i wykonywane przez ich procesory aplikacyjne. Konfigurowanie niewielkich zestawów urządzeń LonWorks przy pomocy zestawu konfigurującego dowolnego producenta nie wymaga specjalnej wiedzy informatycznej a jedynie praktycznej znajomości systemu LonWorks, urządzeń wchodzących w skład systemu automatyki i poznanie programu konfigurującego na podstawie jego dokumentacji. Dla rozległych systemów o dużej ilości węzłów sieci potrzebna jest dodatkowa wiedza o programowaniu ruterów i stosowanie Analizatora Protokołu będącego częścią zestawu LonBuilder.

Komputery PC są natomiast często używane do współpracy z obsługą systemu: monitor służy do prezentacji monitorowanych pomiarów wykonywanych przez system a klawiatura do wprowadzania poleceń i danych. Wykonanie oprogramowania do monitorowania i sterowania urządzeniami przeznaczonego do instalacji na komputerze PC jest stosunkowo proste dzięki dołączanemu przez firmę Echelon do interfejsu LonWorks źródłowego oprogramowania aplikacyjnego w języku "C" tzw. "host application". Kilka firm produkuje już oprogramowanie dla środowiska Windows przeznaczone do współpracy z interfejsem LonWorks a oferta w dziedzinie oprogramowania poszerza się z każdym miesiącem o nowe

produkty. Dużą ilość danych technicznych można uzyskać poprzez sieć Internet. Oto wybór niektórych urządzeń z katalogu znajdującego się pod adresem <http://www.eurolon.se>

## **5. Wybrane urządzenia LonWorks stosujące transmisję po liniach energetycznych 220V.**

### **5.1 Podstawowe parametry systemu Arigo.**

Moduły systemu Arigo firmy IBM wykonane w formie wtykanych do ściennych kontaktów prostokątnych puszek zawierających po przeciwnej stronie gniazdo na wtyczkę włączanego/wyłączonego urządzenia zasilanego z 220V poprzez moduł Arigo. System uruchomieniowy Arigo zawierający kartę do komputera PC z nadajnikiem/odbiornikiem do sieci energetycznych wraz z oprogramowaniem konfigurującym moduły i dwoma modułami kosztuje obecnie około 1500 zł. Moduły Arigo kosztują ok. 400 zł i zawierają: stycznik 220V/16A do przekazywania zasilania do urządzeń sterowanych, dwa przyciski ręczne, dwie diody LED i brzęczyk a ponadto:

moduł 1 - czujnik natężenia oświetlenia i zegar

moduł 2 - czujnik prądu ( oblicza moc pobieraną przez dołączone urządzenie )

Oprogramowanie w środowisku Windows zapewnia wygodne i przyjazne programowanie funkcji systemu. Oprogramowanie to ładuje się do modułów sterujących, które pracują następnie samodzielnie bez udziału komputera PC.

### **5.2. Inne.**

Moduł Sphere firmy Asgard zawiera podobny zestaw elementów lecz jest zabudowany w obudowie przemysłowej.

Moduł PCU firmy Connect zawiera: 8 wejść cyfrowych, 2 wyjścia styczników 0,5A, 2 wejścia impulsowe z podtrzymaniem bateryjnym, 1 wejście analogowe i 1 wyjście analogowe.

Odcinki sieci LonWorks łączonej np. skrętką mogą być między sobą łączone poprzez sieć energetyczną 220V po zastosowaniu 2 ruterów np. PLT20/FTT.

Niektóre urządzenia LonWorks stosujące transmisję po kablach typu "skrętka".

Seria modułów "Ultra Slim" do montowania na szynie DIN produkcji firmy Weidmuller:

- moduł wejścia analogowego,



- moduł wyjścia analogowego,
- moduł interfejsu dla Pt100, Pt500 i Pt1000,
- moduł interfejsu dla termoelementów,
- moduł wejścia potencjometrycznego.

Seria modułów firmy GLT:

- moduł 3 wyjść analogowych z funkcjami arytmetycznymi,
- moduł pomiaru temperatury i wilgotności z dwoma wyjściami stycznikowymi,
- regulator PID do sterowania zaworami do mieszania wody z 4 wyjściami sterującymi czujnikiem temperatury, 3 wejściami uniwersalnymi,
- sterownik wentylatora z podobnym wyposażeniem i 5 swobodnie programowanymi wewnętrznymi obiektami regulacyjnymi,
- inteligentny termostat do zabudowy w obcym urządzeniu zawiera: wielofunkcyjny zintegrowany czujnik temperatury, 5 diod LED, wyjście logiczne sieciowe do sterowania wentylatora, funkcja PID, funkcja zima/lato, wejście sieciowe dla zegara i kalendarza, wejście sieciowe do nastaw temperatury.

Moduł zegara z kalendarzem typu BA firmy Weidmuller

Moduł I/O typu BA firmy Weidmuller zawierający: 3 wejścia Pt100, wejścia dla liczników energii, 2 wyjścia 0-10V, wyjście stycznikowe, przeznaczony do zastosowań jako regulator PID dla systemów ogrzewania.

Moduł typu 89K-02E firmy Falck 4 lub 8 pętli prądowych stanowi interfejs pomiędzy czujnikami i urządzeniami sterującymi. Zawiera 10 bitowy przetwornik A/C, zegar, wyjście stycznikowe i stabilizowane wyjście dla zasilania 12V.

Regulator typu Xenta 101 firmy TAC jest przeznaczony do współpracy ze sterowanym wentylatorem i stopniem ogrzewania lub chłodzenia i ma na celu zapewnienie stałej temperatury w pomieszczeniu. Posiada dwa wejścia do czujników otwarcia okna i obecności osób w pomieszczeniu, wejścia pomiaru temperatury wody, powietrza i powietrza nadmuchu, wejście dla nastawy zadanej temperatury. Ma dwa wyjścia dla sterownika zaworów ( triak ) i jedno analogowe dla sterowania szybkością wentylatora. Regulator przełącza się z ogrzewania

na chłodzenie samodzielnie zależnie od temperatury wody lub po komendzie otrzymanej przez sieć LonWorks.

Stany wszystkich wejść i wyjść są transmitowane poprzez sieć LonWorks do pozostałej części systemu klimatyzacji.

Perspektywy zastosowań w ciepłownictwie.

Ostatnie lata wykazują silną tendencję do modernizacji miejskich systemów ciepłowniczych co oznacza znaczny wzrost wymagań technicznych dla sprzętu automatyki. Eksploatatorom tych systemów nie wystarczają dziś możliwości regulatorów i ciepłomierzy instalowanych w węzłach cieplnych i realizujących podstawowe lokalne pętle regulacji temperatury i lokalny odczyt zużycia ciepła. Coraz częściej wymaga się od układów automatyki:

- monitorowania procesów i centralnej rejestracji,
- alarmowania w przypadku awarii,
- zdalnego sterowania wybranymi urządzeniami wykonawczymi,
- zdalnych nastaw dla lokalnych układów automatycznej regulacji.

Wymagania te spełnione mogą być w optymalny sposób przez nowoczesne systemy automatyki stosujące sieci mikroprocesorowe o zdecentralizowanej inteligencji. W takich systemach urządzenia pełniąc swoje lokalne funkcje jednocześnie porozumiewają się wymieniając między sobą informacje. Obecnie instalowane systemy tego typu oparte są na swobodnie programowalnych sterownikach mikroprocesorowych, mogących pracować autonomicznie jako lokalne regulatory ale także jednocześnie służyć jako obiektowe urządzenia sterowane z centralnej stacji operatorskiej. Systemy te mogą realizować nawet najbardziej złożone zadania monitoringu i sterowania w systemach ciepłowniczych lecz ich koszt w porównaniu do tradycyjnej automatyki lokalnej jest jeszcze nadal wysoki. Dlatego zasięg instalowanych obecnie systemów zdecentralizowanej automatyki jest zwykle zawężony do najważniejszych elementów systemów ciepłowniczych:

- źródeł ciepła,
- głównych komór sieciowych,
- przepompowni sieciowych,
- dużych węzłów cieplnych.

Małe węzły w blokach mieszkalnych i domkach jednorodzinnych nie są jeszcze na ogół obejmowane takim systemem wyłącznie ze względu na zbyt wysokie koszty.

Typowa struktura systemu zdecentralizowanej automatyki obsługującego średni system ciepłowniczy wygląda dziś następująco. Kotłownia węglowa jest obsługiwana przez kilka sterowników, zwykle po jednym dla każdego kotła, służących do kontroli procesu spalania a w tym:

- automatycznej regulacji mocy kotła,
- regulacji zawartości tlenu w spalinach,
- regulacji podciśnienia w komorze spalania.

Ponadto jeden lub dwa sterowniki obsługują pompownię realizując automatyczną regulację:

- temperatury wody wyjściowej z kotłów,
- przepływu przez kotły,
- ciśnienia dyspozycyjnego na wyjściu,
- temperatury zasilania sieci miejskiej.

Sterowniki te obsługują także urządzenia pomocnicze w kotłowni np. odgazowywacz.

W węzłach ciepłych można stosować prostsze sterowniki, które oprócz obowiązkowych lokalnych zadań automatycznej regulacji obwodów centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej realizują w systemie funkcje monitorowania liczników ciepła, sygnalizacji stanu pracy i awarii urządzeń węzła, zdalnych nastaw parametrów dla obwodów regulacji.

W szczególności sterowniki te powinny monitorować temperatury, ciśnienia, przepływy, stany zasuw sekcyjnych a także sterować tymi zasuwami.

Xenta 300 firmy TAC to rodzina sterowników swobodnie programowanych przeznaczonych do małych i średnich systemów. Posiadają one wbudowane funkcje pętli regulacyjnych, programowanych krzywych grzewczych, sterowania czasowego, generowania alarmów. Posiadają 4 wejścia dwustanowe, 4 wejścia uniwersalne programowane do wyboru jako: dwustanowe, termistorowe lub analogowe 0..10V,  
4 wejścia termistorowe -50...+50 °C,  
6 wyjść przekaźnikowych,  
2 lub 4 wyjścia analogowe 0...10V.

## 6. Podsumowanie.

Przedstawione w Załączniku nr 2 przykłady analizy efektywności ekonomicznej zastosowania systemu indywidualnego sterowania programowo- czasowego dostaw ciepła wykazały, że wprowadzenie systemu drogą modernizacji instalacji zapewni okres zwrotu nakładów ze środków własnych w czasie od 2,9 roku do 6,8 roku, natomiast wprowadzenie systemu w ramach nowej inwestycji zapewni krótszy okres zwrotu nakładów ze środków własnych w czasie od 1,7 roku do 4-ch lat. Wynika z tego, że indywidualne sterowanie dostawą ciepła do pomieszczeń jest bardzo wydajnym i tanim sposobem oszczędzania ciepła w budynkach użyteczności publicznej. Dlatego warto podjąć próbę opracowania możliwie taniego i prostego systemu realizującego ten rodzaj sterowania. Technologia LonWorks daje szansę optymalnego rozwiązania problemu.

Obecnie najlepszymi urządzeniami LonWorks, które spełniają wymagania dla systemu ogrzewania jest system Arigo przedstawiony w p. 5.1 sprawozdania.

Załącznik 1

Mgr inż. Barbara Omylińska  
00-202 Warszawa  
ul. Świętojerska 16 m. 5

## **ANALIZA MOŻLIWOŚCI TECHNOLOGICZNYCH INDYWIDUALNEGO STEROWANIA DOSTAWĄ CIEPŁA DO POMIESZCZEŃ W BUDYNKACH UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM SZKÓŁ**

### **1. Podstawa i zakres opracowania**

Podstawą opracowania jest Umowa o dzieło nr 72/99 z dnia 19.04.1999 r. zawarta z Przemysłowym Instytutem Automatyki i Pomiarów z Warszawy. W opracowaniu opisano:

- specyficzne problemy ogrzewania budynków użyteczności publicznej, zwłaszcza szkół, w aspekcie oszczędnego zużycia ciepła;
- możliwości oszczędnego sterowania dostawą ciepła do budynku w węźle cieplnym lub kotłowni lokalnej;
- właściwości statyczne i dynamiczne budynku i poszczególnych pomieszczeń,
- rozwiązania technologiczne instalacji wewnętrznych centralnego ogrzewania,
- sposoby sterowania odbiorem ciepła przez grzejniki i grupy grzejników,
- przykładowe oferty firm popularnych na polskim rynku,
- zalety i wady dostępnych rozwiązań,
- propozycje zasad działania systemów, które mogą być zrealizowane w technologii **Lon Works**.

### **2. Specyfika ogrzewania budynków użyteczności publicznej**

Budynki użyteczności publicznej takie jak teatry czy kina, biurowce, szkoły z punktu widzenia dostawy ciepła dla celów ogrzewania różnią się zasadniczo od budynków mieszkalnych. Istota tej różnicy sprowadza się do odmiennego niż w przypadku mieszkań cyklu czasowego zajmowania pomieszczeń przez ludzi.

W przypadku budynków mieszkalnych, zwłaszcza wielorodzinnych, okresy nieobecności ludzi w mieszkaniach są krótkie, mają charakter przypadkowy i dlatego raczej niemożliwe jest uzyskanie istotnych oszczędności zużycia ciepła dla potrzeb ogrzewania przez ograniczanie lub odcinanie jego dostawy do akurat nie używanych pomieszczeń. Szczególnie w domach wielorodzinnych stosowanie sterowania programowo - czasowego jest wykluczone, gdyż skutkowałoby dyskomfortem lokatorów. Dlatego w praktyce ograniczanie zużycia ciepła w budownictwie mieszkaniowym jest realizowane centralnie dla całego obiektu i sprowadza się do optymalizacji parametrów regulatora pogodowego w węźle cieplnym, czy też lokalnej kotłowni.

W przypadku budynków użyteczności publicznej okresy przebywania ludzi w poszczególnych pomieszczeniach są krótkie - od kilku do kilkunastu godzin na dobę. Oprócz dobowego występuje zwykle również cykl tygodniowy (przerwa weekendowa w użytkowaniu obiektu). Ponad to czas zajmowania pomieszczeń przez ludzi nie jest przypadkowy - wynika z harmonogramu działania instytucji użytkującej budynek. Zatem w przypadku budynków użyteczności publicznej istnieje możliwość uzyskiwania dalszych (ponad uzyskane dzięki centralnej regulacji pogodowej w węźle lub kotłowni) znaczących oszczędności zużycia ciepła przez zastosowanie programowo czasowego sterowania dostawą ciepła do poszczególnych pomieszczeń. Takie sterowanie jest znane i stosowane w budynkach reprezentacyjnych (teatry, kina) czy luksusowych biurowcach i hotelach. Jest ono w takich zastosowaniach fragmentem skomplikowanych systemów typu SCADA obsługujących wszystkie instalacje tzw. "inteligentnego budynku". Oczywiście są to rozwiązania bardzo drogie i w odniesieniu do całej populacji budynków użyteczności publicznej ich stosowanie ma charakter ograniczony.

W tym opracowaniu analizowane są możliwości uzyskania oszczędności zużycia ciepła przez programowo - czasowe sterowanie dostawą ciepła do budynków powszechnego użytku takich jak szkoły, przychodnie zdrowia, domy kultury, biurowce administracji państwowej, czy samorządowej itp. Są to obiekty występujące powszechnie, zazwyczaj użytkowane przez instytucje budżetowe, czyli dysponujące raczej skromnymi środkami na eksploatację i inwestycje. Zatem niezbędne jest w tych przypadkach poszukanie możliwie najtańszych sposobów realizacji programowo - czasowego sterowania dostawą ciepła do poszczególnych pomieszczeń.

### **3. Możliwości oszczędnego sterowania dostawą ciepła do budynku w węźle cieplnym, lub kotłowni lokalnej**

Każdy nowoczesny regulator pogodowy sterujący węzłem cieplnym, lub kotłownią lokalną (dotyczy to oczywiście kotłowni na gaz, lub olej opałowy - węglowe nie nadają się do automatyzacji) ma wbudowany zegar umożliwiający zastosowanie sterowania programowo - czasowego. To sterowanie polega na obniżaniu krzywej grzania budynku w zaprogramowanych okresach czasu. Wówczas we wszystkich pomieszczeniach budynku zamiast temperatury standardowej utrzymywana jest niższa temperatura dyżurna.

Fakt, że za pomocą programatora czasowego w regulatorze pogodowym węzła, lub kotłowni lokalnej można obniżyć dostawę ciepła tylko do wszystkich pomieszczeń jednocześnie jest przyczyną ograniczonych możliwości stosowania tej metody. Obniżenie można zastosować tylko w tych okresach doby i w tych pełnych dobach tygodnia, kiedy w budynku w ogóle nie przebywają ludzie. Zatem możliwe jest przestawianie regulatora na temperaturę dyżurną tylko w środku nocy i tylko w te weekendy, kiedy w budynku nikt nie przebywa. Dla przykładu wystarczy dość typowa sytuacja w szkołach wiejskich gdzie w budynku szkolnym znajdują się mieszkania nauczycieli, aby zastosowanie centralnego sterowania programowo - czasowego w ogóle nie było możliwe.

Efektywniejsze jest programowo - czasowe sterowanie dostawą ciepła do poszczególnych pomieszczeń, bowiem:

- pozwala wydłużać okresy utrzymywania temperatury dyżurnej w konkretnych pomieszczeniach zgodnie z harmonogramem ich użytkowania i niezależnie od harmonogramów użytkowania innych pomieszczeń danego obiektu,
- pozwala stosować temperaturę dyżurną również w przypadku obiektów, w których część pomieszczeń jest stale użytkowana i musi być w nich utrzymywana temperatura standardowa.

Możliwe jest skojarzenie centralnego (w węźle) i lokalnego (w pomieszczeniach) sterowania programowo - czasowego. Z punktu widzenia efektów oszczędnościowych zużycia ciepła taki system mieszany nie daje dodatkowych korzyści. Jednak jego zastosowanie może być uzasadnione z uwagi na stabilność hydrauliczną instalacji wewnętrznej c.o., o czym jest mowa dalej. W każdym razie oba sposoby sterowania nie kolidują z sobą i mogą być zastosowane bez powiązania pod warunkiem, że centralne obniżanie krzywej grzania ma miejsce tylko w tych okresach czasu, gdy w budynku nie ma żadnych użytkowników.

W dalszej części opracowania zakłada się milcząco, że węzeł cieplny czy kotłownia lokalna (olejowa, lub gazowa) są wyposażone w automatykę pogodową z centralnym programatorem czasowym, który może być używany fakultatywnie. Trzeba wyraźnie podkreślić, że stosowanie lokalnego sterowania programowo - czasowego w pomieszczeniach tam, gdzie źródło ciepła nie jest zautomatyzowane stanowi błąd, który spowoduje rozregulowanie instalacji wewnętrznej budynku i zakłócenia w pracy sieci cieplnej i/lub kotłowni.

#### **4. Właściwości statyczne i dynamiczne budynku oraz poszczególnych pomieszczeń**

Podstawowymi zjawiskami fizycznymi w procesie ogrzewania budynków są wymiana i akumulacja ciepła. Wymiana ciepła następuje w grzejnikach między wodą grzewczą i powietrzem w pomieszczeniu, między pomieszczeniami przez przegrody wewnętrzne, oraz między budynkiem i jego otoczeniem zewnętrznym przez przegrody zewnętrzne (ściany i okna). Akumulacja ciepła ma miejsce w przegrodach wewnętrznych i zewnętrznych i w powietrzu wewnątrz pomieszczeń budynku (znacznie mniejsza od akumulacji w przegrodach). Dodatkowymi zjawiskami termodynamicznymi, mającymi mniejszy wpływ na proces ogrzewania, są konwekcja ciepła wewnątrz budynku i między budynkiem, a światem zewnętrznym (wentylacja, infiltracja) oraz promieniowanie pochodzące od wtórnych generatorów ciepła (np. kuchnie, sami ludzie) oraz od słońca.

Wymiana ciepła między grzejnikiem i powietrzem jest proporcjonalna do średniej logarytmicznej różnicy temperatur grzejnika i pomieszczenia, oraz do strumienia przepływu czynnika grzewczego w grzejniku. Upraszczając - ilość ciepła oddawanego przez grzejnik pomieszczeniu jest tym wyższa im wyższa temperatura czynnika grzewczego na zasilaniu grzejnika i im większa prędkość przepływu przez grzejnik. Temperatura na zasilaniu grzejnika jest regulowana w węźle w funkcji temperatury zewnętrznej tak, aby utrzymać stałą standardową temperaturę pomieszczeń (regulacja pogodowa). Dlatego praktycznym sposobem sterowania indywidualnego dostawą ciepła do poszczególnych pomieszczeń jest dławienie przepływu wody grzewczej przez grzejniki.



Wymiana ciepła między pomieszczeniami jest proporcjonalna do różnicy temperatur w sąsiadujących pomieszczeniach. W budynkach mieszkalnych wielorodzinnych, gdzie zasadą jest utrzymywanie tej samej temperatury we wszystkich mieszkaniach, ta wymiana jest pomijalna. Zupełnie inaczej rzecz się przedstawia przy indywidualnym sterowaniu programowo - czasowym temperaturą pomieszczeń w budynkach użyteczności publicznej. Tutaj "pożyczki" ciepła przez pomieszczenia wysterylowane na temperaturę dyżurną od sąsiednich pomieszczeń ogrzewanych standardowo mogą być znaczące, zwłaszcza jeżeli większość pomieszczeń w budynku jest odcięta od grzania przez dłuższy czas. Wówczas pomieszczenia grzane standardowo w celu utrzymania w nich właściwej temperatury muszą być grzane intensywniej niż w przypadku standardowego grzania wszystkich sąsiednich pomieszczeń. Oznacza to, że w przypadku stosowania indywidualnego programowo - czasowego sterowania temperaturą pomieszczeń grzejniki w takich pomieszczeniach powinny być projektowane na większą wydajność niż to wynika z typowych zasad doboru. W przypadku obiektów starych, dla uniknięcia znacznych kosztów przebudowy instalacji c.o. (zwiększenia powierzchni grzejników) możliwe jest wyjście doraźne, polegające na zaprogramowaniu w regulatorze pogodowym podwyższonej krzywej grzania.

Wymiana ciepła między budynkiem i jego otoczeniem jest proporcjonalna do różnicy temperatur wewnątrz i na zewnątrz budynku. Stąd widać na czym polega oszczędność ciepła do ogrzewania przy sterowaniu programowo - czasowym. Obniżenie temperatury w pomieszczeniu do dyżurnej (przeciwdziałającej przemarzaniu) jest działaniem w kierunku zmniejszenia różnicy temperatur wewnętrznej i zewnętrznej, a co za tym idzie działaniem w kierunku zmniejszenia strat ciepła na zewnątrz.

Wszystkie opisane wyżej zjawiska mają swoją dynamikę spowodowaną przede wszystkim akumulacyjnymi właściwościami konstrukcji budynku, ale także akumulacyjnością cieplną powietrza zawartego w pomieszczeniach i jego wymianą z otoczeniem zewnętrznym. Generalnie w procesie grzania budynku występują dwie stałe czasowe różniące się od siebie co najmniej o rząd:

- stała czasowa akumulacji ciepła w konstrukcji budynku - w zależności od rodzaju materiałów konstrukcyjnych i masy konstrukcji może wynosić od kilkunastu do ponad stu godzin,
- stała czasowa powietrza w pomieszczeniach zależna od kubatury pomieszczeń i szybkości wymiany powietrza w pomieszczeniach - głównie w zależności od szybkości infiltracji (naturalnej czy mechanicznej) może ona wynosić od kwadransa do kilku godzin.

Zatem mimo, że procesy grzewcze budynków należą do bardzo wolno zmiennych można w nich wyróżnić składnik wolny (przedział czasu liczony w dobach) i składnik w miarę szybki (przedział czasu godzinowy). Te przebiegi nakładają się na siebie. Świadomość dynamiki procesów grzania jest istotna przy wyborze sposobów indywidualnego sterowania grzaniem pomieszczeń. W szczególności pamiętać należy o antycypacji polegającej na czasowym wyprzedzeniu momentu przesterowania na grzanie dyżurne i z powrotem na grzanie standardowe w stosunku do czasu końca i początku użytkowania pomieszczenia przez ludzi.

## **5. Rozwiązania technologiczne instalacji wewnętrznych centralnego ogrzewania**

Instalacja wewnętrzna c.o. w budynku ma za zadanie rozprowadzenie czynnika grzewczego (z reguły wody) z węzła cieplnego, lub kotłowni lokalnej do grzejników. W budynkach użyteczności publicznej zazwyczaj w jednym pomieszczeniu znajduje się kilka grzejników, gdyż są to przeważnie pomieszczenia o dużej powierzchni (w szkołach klasy, czy laboratoria itp.). Stałymi elementami każdej instalacji c.o. w dużych obiektach są:

- pompa obiegowa (cyrkulacyjna) w węźle/kotłowni,
- rozdzielacze zasilający i powrotny w węźle/kotłowni,
- piony rozprowadzające czynnik grzewczy po kondygnacjach budynku,
- odgałęzienia od pionów do pojedynczych grzejników, lub grup grzejników,
- układ wyrównawczo-odpowietrzający.

Pompa obiegowa służy do wymuszenia cyrkulacji czynnika grzewczego w instalacji wewnętrznej. Rozdzielacze łączą przewód zasilający i powrotny węzła/kotłowni z poszczególnymi pionami instalacji wewnętrznej. Odgałęzienia doprowadzają czynnik grzewczy do każdego grzejnika. Układ wyrównawczy jest niezbędny po to, aby kompensować zmiany objętości zładu wody w instalacji wewnętrznej spowodowane zmianami temperatury tej wody. Innym powodem zmian objętości zładu są przecieki, co się wiąże z zapowietrzaniem instalacji i koniecznością uzupełniania zładu. Z reguły wszystkie te problemy są realizowane przez układ wyrównawczy wyposażony w stosowne dodatkowe funkcje.

W starych budynkach zazwyczaj istnieją instalacje wyposażone w otwarte naczynia zbiorcze. Obecnie te rozwiązania nie są stosowane. Stosuje się teraz zamknięte przeponowe naczynia zbiorcze w połączeniu z automatycznymi odpowietrnikami pionów. Takie rozwiązanie zapewnia łatwiejsze opanowanie problemów stabilności hydraulicznej instalacji wewnętrznej, zwłaszcza w warunkach zmiennego rozplywu czynnika grzewczego do grzejników wywołanego różnymi systemami automatyzacji dostawy ciepła do pomieszczeń. Nie wchodząc w szczegóły trzeba podkreślić, że warunkiem koniecznym wprowadzenia programowo - czasowego sterowania dostawą ciepła do poszczególnych pomieszczeń jest instalacja wewnętrzna z zamkniętym naczyniem zbiorczym i automatycznymi odpowietrnikami w pionach. Jeśli w obiekcie poddanym modernizacji instalacja wewnętrzna c.o. ma otwarte naczynie zbiorcze, to konieczna jest przeróbka tej instalacji.

W starych instalacjach c.o. stosowano bezwzględnie tzw. rozdział pionowy, który polegał na tym, że na każdej kondygnacji z danego pionu mógł być zasilany tylko jeden grzejnik. Obecnie stosuje się różne warianty ogrzewania strefowego, prowadzące się do tego, że odrzut z pionu może równolegle zasilać kilka grzejników obsługujących jedno pomieszczenie lub, jak w budownictwie mieszkalnym jedno mieszkanie (tzw. rozdział poziomy). W przypadku budynków użyteczności publicznej rozsądnym rozwiązaniem instalacji c.o. jest takie strefowanie, aby wszystkie grzejniki w danym pomieszczeniu były zasilane z jednego odrzutu od pionu. Niestety w starych obiektach ta zasada nie jest przestrzegana, co komplikuje rozwiązania projektowe systemów programowo - czasowych.

Sterowanie dopływem ciepła do poszczególnych grzejników metodą dławieniową powoduje zmienność rozplywów czynnika grzewczego w instalacji wewnętrznej i związane z tym wahania ciśnień, co w skrajnym przypadku może spowodować destabilizację hydrauliczną instalacji i uniemożliwić jej poprawne użytkowanie. Dla zminimalizowania tych niekorzystnych efektów ubocznych sterowania dostawą ciepła

do poszczególnych pomieszczeń niezbędne jest stosowanie w instalacjach wewnętrznych:

- pomp obiegowych z wbudowanym regulatorem ciśnienia podnoszenia (standard w nowoczesnych pompach c.o.),
- zaworów podpionowych służących do dostrajania oporności hydraulicznej pionów.

Tak więc po to, aby umożliwić skuteczne stosowanie sterowania programowo - czasowego dostawą ciepła do indywidualnych pomieszczeń trzeba przystosować do tego istniejącą instalację wewnętrzną lub wymienić ją na nową. Przystosowana do w/w celu instalacja musi być wyposażona w:

- pompę obiegową z wbudowanym regulatorem ciśnienia podnoszenia,
- zamknięte naczynie wzbiorcze,
- zawory podpionowe,
- automatyczne odpowietrzniki pionów.

Ponad to wskazane jest, aby instalacja wewnętrzna miała strukturę strefową, w której wszystkie grzejniki w danym pomieszczeniu są zasilane równolegle z jednego odrzutu od pionu.

## **6. Sposoby sterowania odbiorem ciepła przez grzejniki i grupy grzejników**

Najpopularniejszym i najprostszym sposobem sterowania dostawą ciepła do poszczególnych pomieszczeń, a ściśle mówiąc z poszczególnych grzejników jest użycie termostatów przygrzejnikowych. Te regulatory temperatury bezpośredniego działania pozwalają na utrzymywanie zadanej temperatury w pomieszczeniu (ściśle w bezpośrednim sąsiedztwie zaworu). Wartość zadaną ustawia się za pomocą ręcznego pokrętła. Każda zmiana tej wartości wymaga ręcznej ingerencji.

Inne rozwiązanie polega na zastosowaniu elektronicznych regulatorów temperatury pomieszczeń z wbudowanymi czujnikami temperatury i programatorami czasowymi. Takie regulatory sterują dwustawnie, lub trójstawnie (algorytm krokowej regulacji PI) miniaturowymi siłownikami zaworów przygrzejnikowych, lub zaworu strefowego (jeden dla grupy grzejników obsługujących dane pomieszczenie. Przy czym krokowa regulacja trójstawna ma sens tylko w odniesieniu do zaworu strefowego, natomiast dwustawnie mogą być z jednego regulatora wysterowywane wszystkie zawory przygrzejnikowe pomieszczenia dzięki zastosowaniu równoległego połączenia ich siłowników. W regulatorze nastawia się dwie wartości zadane temperatury pomieszczenia: standardową i dyżurną (niższą). Przełączanie wartości zadanych odbywa się z programatora czasowego. Program czasowy dla każdego regulatora jest ustawiany ręcznie. Każda zmiana programu wymaga ręcznej interwencji operatora.

Specyficznymi elementami układów elektronicznej regulacji temperatury w pomieszczeniach są miniaturowe siłowniki do zaworów przygrzejnikowych, lub strefowych. Stosowane są siłowniki elektromechaniczne, będące miniaturowymi i uproszczonymi wersjami znanych siłowników do przemysłowych zaworów regulacyjnych, albo specjalne siłowniki termoelektryczne. Te ostatnie działają na zasadzie rozszerzalności cieczy pod wpływem temperatury. Grzałka elektryczna podgrzewa mieszk sprężysty wypełniony cieczą o dużym współczynniku rozszerzalności cieplnej powodując jego wydłużanie się. Wyłączenie grzałki

powoduje stygnięcie cieczy i kurczenie się mieszka. Siłowniki termiczne nadają się wyłącznie do regulacji dwustawnej.

Najbardziej złożonymi systemami programowo - czasowego sterowania dostawą ciepła do poszczególnych pomieszczeń są komputerowe systemy monitoringu i sterowania, których stacjami oddalonymi są pokojowe mikroprocesorowe sterowniki temperatury między innymi o tych samych co regulatory autonomiczne funkcjach sterowania zaworami grzejnikowymi czy strefowymi. Różnica polega na tym, że zarówno wartości zadane temperatury standardowej i dyżurnej, jak i program czasowy dla każdego pomieszczenia są w tym przypadku nastawiane i przestrajane centralnie w stacji operatorskiej systemu.

## 7. Przykładowe oferty firm popularnych na polskim rynku

Jako przykłady omówiono w tym punkcie oferty sprzętowe czterech popularnych na polskim rynku firm światowych. Są to: Danfoss, Honeywell, Sauter i Siemens Building Technologies (dawniej Landis & Gyr). Każda z tych firm oferuje sprzęt o właściwościach omówionych w poprzednim punkcie. Poniżej podano specyfikację w rozbiciu na grupy asortymentowe:

### 1. miniaturowe siłowniki elektromechaniczne

- Danfoss: siłownik AMV 100 do sterowania trójstawnego (krokowego),
- Honeywell: siłownik liniowy (0...10V) M7410E, oraz siłowniki trójstawne M7410A i M7410C,
- Sauter: typoszereg siłowników do zaworów dwudrogowych V1W i trójdrogowych B1W, współpracujących z regulatorami ERT,
- Simens: zawory strefowe z siłownikami serii MVE... i MXE..., siłowniki SQC91 i 92, siłowniki SQC81.1, oraz siłowniki do zaworów przygrzejnikowych SSA31, SSA61 i SSA81.

### 2. siłowniki termoelektryczne:

- Danfoss: siłownik ABV,
- Honeywell: siłowniki M4450A i M8450A,
- Sauter: siłowniki AXT116 i A2T4,
- Simens: siłowniki STE21.1 i STE71.1.

### 3. autonomiczne regulatory pokojowe:

- Danfoss: programowalny termostat pokojowy TP5E,
- Sauter: regulatory pokojowe serii TSH i ERT,
- Simens: regulatory pokojowe serii REV.

### 4. wyspecjalizowane systemy monitoringu i sterowania:

- Honeywell: system Exell IRC,
- Sauter: system ECOS,
- Simens: sterowniki TEC z systemu VISONIC.

Jako ciekawostkę warto odnotować nietypową ofertę firmy SIMENS, która oferuje elektroniczne mikroprocesorowe głowice do zaworów przygrzejnikowych serii RE90 i RE92. Te głowice mają zasilanie bateryjne i mogą być (każda z osobna) czasowo programowane.

Uwaga: więcej danych o w/w sprzęcie w załączonych kartach katalogowych.

## 8. Zalety i wady dostępnych rozwiązań

Zalety i wady dostępnych rozwiązań można rozpatrywać z uwzględnieniem trzech głównych aspektów: kosztów, wygody użytkowania i skutków ubocznych. Najtańszym rozwiązaniem są powszechnie znane w budownictwie mieszkaniowym termostaty przygrzejnikowe. Dodatkowo powodują one stosunkowo małe zakłócenia w pracy instalacji wewnętrznej c.o., gdyż są ciągłego działania i przesterowują się bardzo wolno (stała czasowa termostatu jest rzędu godziny). Mimo tych oczywistych zalet stosowanie termostatów przygrzejnikowych do sterowania programowo - czasowego jest nieracjonalne. Wymagałoby to nieustannego dyżurowania obsługi i ręcznego przestawiania wartości zadanych raz na temperaturę standardową, potem na dyżurną, z powrotem na standardową itd. Taki "system" nie ma szans skutecznego stosowania.

Autonomiczne pokojowe regulatory elektroniczne wraz z siłownikami (jednym na regulator w przypadku instalacji strefowej gdzie siłownik steruje zaworem strefowym, lub kilkoma w przypadku równoległego sterowania wszystkimi zaworami przygrzejnikowymi w pomieszczeniu) są wyraźnie droższe od termostatów przygrzejnikowych. Ponad to koszty siłowników elektromechanicznych są wyższe od kosztów siłowników termoelektrycznych. Z kolei sterowanie dwustawne (wyłączne w przypadku sterowników termoelektrycznych) powoduje większe zakłócenia w instalacji wewnętrznej (mimo długich czasów zamykania i otwierania tych siłowników), niż sterowanie trójstawne krokowe (ale możliwe tylko w przypadku instalacji strefowej). Regulatory pokojowe mogą być zaprogramowane czasowo według dowolnego, ale niezmiennego cyklu. Zmiana cyklu sterowania wymaga ręcznej ingerencji w danym regulatorze. Jak więc widać autonomiczne regulatory pokojowe mają cechy "do przyjęcia" w jednym konkretnym przypadku, ale nieakceptowalne w innym. Jest to jednak aktualnie rozwiązanie najracjonalniejsze dla obiektów nieluksusowych.

Niewątpliwie najwygodniejszym dla użytkownika rozwiązaniem są komputerowe systemy monitorowania i sterowania z wyspecjalizowanymi sterownikami pokojowymi jako stacjami obiektowymi sterowanymi nadrzędnie przez centralną stację operatorską. W takich systemach zazwyczaj programowo - czasowe sterowanie dostawą ciepła do poszczególnych pomieszczeń jest tylko jednym z zadań. Mimo to koszty takich systemów w odniesieniu do typowych budynków użyteczności publicznej (gdzie inne zadania realizowane przez system nie są za bardzo potrzebne) są tego rzędu, że zachodzi zjawisko przeinwestowania, kiedy to nakłady inwestycyjne przerastają możliwości płatnicze inwestora. Szczególnie niewygodnym i kosztownym składnikiem takich systemów jest okablowanie budynku (stacja operatorska i sterowniki pokojowe muszą być połączone magistralą cyfrową, która fizycznie oznacza pociągnięcie po budynku specjalnych kabli sygnałowych (co najmniej skrętka ekranowana). Zatem mimo oczywistej wygody eksploatacyjnej (możliwość centralnego - z dyspozytorni i elastycznego programowania czasowych cykli ogrzewania każdego pomieszczenia) powszechne stosowanie tych rosystemów jest nierealne.

## **9. Propozycje zasad działania systemów, które mogą być zrealizowane w technologii Lon Works**

Jedną z najistotniejszych zalet technologii **Lon Works** w odniesieniu do omawianego zastosowania jest możliwość transmisji sygnałów sterujących między elementami sieci przez zasilającą te urządzenia sieć elektroenergetyczną. Zatem istnieje

możliwość realizacji systemu nadrzędnego z centralną stacją operatorską bez konieczności dodatkowego okablowywania budynków. Ponad to zadania systemu centralnego w odniesieniu do sterowania programowo - czasowego grzejnikami są elementarnie proste - chodzi o wysyłanie z potwierdzeniem wysterowań dwustawnych ON/OFF. Dlatego elementy systemu mogą być maksymalnie uproszczone i co za tym idzie tanie. Istnieje szansa opracowania systemu nadrzędnego, którego koszty (w odniesieniu do pomieszczenia) byłyby porównywalne z autonomicznymi regulatorami pokojowymi c.o.

Proponuje się rozpatrzenie możliwości realizacji w technologii **Lon Works**, z transmisją po sieci elektroenergetycznej budynku, dwóch typów systemów czasowo - programowalnych: otwartego oraz zamkniętego - z pętlami sprzężeń zwrotnych od temperatury rzeczywistej w sterowanych pomieszczeniach.

Prostszy system otwarty bazuje na założeniu że instalacja wewnętrzna c.o. jest poprawnie dostrojona znanymi sposobami (kryzowanie itp.), natomiast system nadrzędny służy wyłącznie do dowolnie zaprogramowanego odcinania dostawy ciepła do grzejników przez sterowanie znanymi siłownikami termoelektrycznymi zaworów przygrzejnikowych, lub strefowych. W takim ujęciu system składałby się ze stacji operatorskiej umożliwiającej elastyczne programowanie cykli czasowych załączania/wyłączania grzania poszczególnych pomieszczeń i z zestawu identycznych sterowników z wyjściem dwustawnym po jednym dla każdego pomieszczenia. Pomiar temperatury wewnątrz pomieszczeń nie byłby realizowany. Dla zabezpieczenia pomieszczeń przed przemarzeniem konieczne byłoby stosowanie mechanicznych ograniczników skoku w siłownikach termoelektrycznych. Te ograniczniki uniemożliwiałyby całkowite odcięcie przepływu czynnika grzewczego przez grzejniki.

Układ otwarty, aczkolwiek bardzo prosty i co za tym idzie tani ma zasadniczą wadę - niemożliwe jest kontrolowanie i korygowanie ubocznych niekorzystnych skutków odcinania ogrzewania oraz błędów dostrojenia hydraulicznego instalacji. Dlatego proponuje się również nieco bardziej skomplikowaną alternatywną koncepcję układu zamkniętego z pętlami sprzężeń zwrotnych od temperatury w sterowanych pomieszczeniach.

W układzie zamkniętym stacja operatorska programuje chwile czasowe przełączania wartości zadanych w pokojowych sterownikach temperatury pomieszczenia z temperatury standardowej na dyżurną i odwrotnie. Sterownik pomieszczenia oprócz funkcji sterowania siłownikami termoelektrycznymi zaworów pełni rolę dwustawnego regulatora temperatury. Wartości zadane temperatury standardowej i dyżurnej oraz histereza regulatora są programowane ręcznie w sterowniku. Centralnie programuje się natomiast cykle czasowe przełączania. Z punktu widzenia zadań stacji centralnej i transmisji sygnałów sterujących oba systemy są podobne - generowane i przesyłane są tylko sygnały dwustawne ON/OFF. Natomiast w systemie zamkniętym znacznie bardziej skomplikowany i co za tym idzie droższy jest sterownik pomieszczenia, bowiem oprócz funkcji sterowania zaworami musi realizować funkcję pomiaru temperatury wewnętrznej w pomieszczeniu i algorytm (prosty zresztą) regulacji dwustawnej. Układ zamknięty, mimo tych komplikacji jest bardziej funkcjonalny i bezpieczniejszy od otwartego więc powinien być traktowany w dalszych pracach priorytetowo.

Załącznik 2

Mgr inż. Barbara Omylińska  
00-202 Warszawa  
ul. Świętojerska 16 m. 5

## **ANALIZA EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ INDYWIDUALNEGO STEROWANIA DOSTAWĄ CIEPŁA DO POMIESZCZEŃ W BUDYNKACH UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM SZKÓŁ**

### **1. Podstawa i zakres opracowania**

Podstawą opracowania jest Umowa o dzieło nr 71/99 z dnia 19.04.1999 r. zawarta z Przemysłowym Instytutem Automatyki i Pomiarów z Warszawy. W opracowaniu opisano:

- potencjalne możliwości zmniejszenia zużycia ciepła na cele c.o. przez zastosowanie indywidualnego sterowania programowo – czasowego pomieszczeniami,
- przykład analizy kosztów inwestycji w konkretnym budynku szkolnym wraz z analizą efektywności przy założeniu zwrotu nakładów wyłącznie z oszczędności,
- porównanie efektywności ekonomicznej sterowania programowo – czasowego z innymi sposobami zmniejszenia zużycia ciepła na cele c.o. w budynkach użyteczności publicznej.

### **2. Potencjalne możliwości zmniejszenia zużycia ciepła**

Zgodnie z analizą techniczną przedstawioną w poprzednim opracowaniu\* zastosowanie indywidualnego sterowania programowo – czasowego jest uzasadnione tylko wówczas, gdy źródło ciepła (węzeł cieplny, lub kotłownia lokalna) jest wyposażone w automatykę pogodową i instalacja wewnętrzna c.o. jest przystosowana do regulacji dławieniowej przepływu czynnika grzewczego do poszczególnych grzejników (pompa obiegowa c.o. z wbudowanym regulatorem ciśnienia podnoszenia, zamknięte naczynie wzbiorcze, zawory podpionowe i odpowietzniki na pionach). Wszystkie te zabiegi przyczyniają się do wzrostu sprawności eksploatacyjnej instalacji c.o. i powodują oszczędności zużycia ciepła przez budynek. Tutaj przyjmuje się zużycie ciepła przez budynek tak wyposażony jako bazowe i przedmiotem analizy są możliwości dalszego ograniczenia zużycia poniżej tego poziomu bazowego spowodowane wyłącznie zastosowaniem indywidualnego sterowania programowo – czasowego.

---

\*) B. Omylińska "Analiza możliwości technologicznych indywidualnego sterowania dostawą ciepła do pomieszczeń w budynkach użyteczności publicznej ze szczególnym uwzględnieniem szkół", Warszawa, maj 1999 r.



Możliwości zmniejszenia zużycia ciepła z tytułu zastosowania indywidualnego sterowania programowo czasowego zależą przede wszystkim od charakteru budynku i intensywności użytkowania jego pomieszczeń. Oszczędności mogą być tym większe im mniej pomieszczeń budynku jest użytkowanych w sposób ciągły i im krótsze są okresy przebywania w pomieszczeniach ludzi w ciągu doby i/lub tygodnia. Trzeba jednak podkreślić, że nie są to zależności proporcjonalne. Nie można dopuścić do nadmiernego wychładzania pomieszczeń nawet nie używanych przez dłuższy czas. Ponad to w przypadku gdy wzrasta liczba pomieszczeń wysterowanych na temperaturę dyżurną zwiększa się ilość ciepła potrzebna do utrzymania w sąsiednich pomieszczeniach temperatury standardowej.

Również konstrukcja budynku ma wpływ na wielkość potencjalnych oszczędności przy indywidualnym sterowaniu programowo – czasowym. Budynki o dużej akumulacyjności, co wiąże się zwykle z małymi współczynnikami przenikania ciepła, są obiektami gdzie można spodziewać się większych względnych oszczędności ciepła niż w przypadku budynków o lekkiej konstrukcji i mocno przeszklonych.

Konkretne oszacowanie możliwych oszczędności ma uzasadnienie w odniesieniu do każdego indywidualnego przypadku, gdzie znana jest konstrukcja budynku i można założyć cykle dobowe oraz tygodniowe eksploatacji pomieszczeń. Dla potrzeb tej analizy trzeba posłużyć się danymi statystycznymi, które są dostępne w materiałach z konferencji ciepłowniczych i w literaturze firmowej. Zwraca przy tym uwagę duży rozrzut tych danych, co potwierdzałoby sformułowane wyżej uwagi o złożoności problemu, powodującej trudności z jego ilościowym ujęciem.

Dla przykładu według danych firmy Siemens Building Technologies przy modernizacji różnych budynków użyteczności publicznej w USA uzyskano względne oszczędności zużycia ciepła w skali roku od kilkunastu do osiemdziesięciu procent (tak!) zużycia sprzed modernizacji. Te dane dotyczą sumarycznego efektu różnych działań, a nie tylko zastosowania indywidualnego programowo – czasowego sterowania dostawą ciepła do pomieszczeń. Na marginesie zauważyć warto, że uzyskiwano efekty tym większe im bardziej zaniedbana była gospodarka cieplna obiektu przed modernizacją.

W opisanej sytuacji trudności z precyzyjnym określeniem możliwych do uzyskania efektów trzeba w dalszej analizie potraktować względną oszczędność ciepła jako parametr zmienny i zbadać efektywność w funkcji zmian tego parametru. Przy czym można założyć, że realny przedział możliwych do uzyskania oszczędności względnych wynosi 15%,...,35%.

### **3. Przykład analizy efektywności**

W celu ilościowej oceny problemu efektywności omawianego sposobu sterowania przeprowadzono porównawczą analizę dla wybranego rzeczywistego obiektu. Jest to budynek szkolny piętrowy z salą gimnastyczną. W budynku znajdują się 24 pomieszczenia w tym wspomniana sala gimnastyczna, kuchnia stołówka i szatnia, oraz dwa duże korytarze (po jednym na każdej kondygnacji). Budynek jest zaopatrywany w ciepło z lokalnej całkowicie zautomatyzowanej (bezobsługowej) kotłowni na olej opałowy o mocy 180 kW. W budynku znajduje się 88 grzejników (od dwóch do pięciu na pomieszczenie). Koszt wytworzenia ciepła w 1998 r. wyniósł 79.500 zł.

Rozpatrzono dwa warianty inwestycyjne: rzeczywisty i hipotetyczny. W wariantcie rzeczywistym zadanie polega na zainstalowaniu systemu w istniejącej instalacji. Zatem zakres robót obejmuje również niezbędne przeróbki istniejącej instalacji wewnętrznej c.o. W wariantcie hipotetycznym przyjmuje się, że budynek szkolny o w/w parametrach jest budowany od nowa. Wówczas zakres robót odnosi się wyłącznie do systemu indywidualnego sterowania programowo - czasowego. Przy tym w pierwszym przypadku przyjęto z konieczności, że sterowane muszą być wszystkie zawory przygrzejnikowe natomiast w drugim, że instalacja wewnętrzna ma strukturę strefową i sterowane muszą być zawory strefowe (po jednym na każde pomieszczenie).

Dodatkowym problemem jest oszacowanie cen elementów systemu wykonanych w technologii **Lon Works**, które jeszcze nie istnieją. Przyjęto tutaj przez analogię ceny podobnych urządzeń oferowanych przez firmę Siemens Building Technologies. Tak więc za cenę sterownika pomieszczenia przyjęto cenę pokojowego mikroprocesorowego zadajnika temperatury QAW20, a za cenę centralnej stacji programującej cykle czasowe przyjęto cenę centralki systemu SYNERGYR. Ceny pozostałych elementów nie stanowiły problemu, gdyż są to urządzenia dostępne aktualnie na rynku. Koszty robót budowlanych i instalacyjnych oszacowano wskaźnikowo jako proporcjonalne do kosztu dostaw urządzeń. Oszacowanie nakładów inwestycyjnych dla obu wariantów przedstawiono w tabelach 1 i 2.

**Tabela 1 - nakłady inwestycyjne na modernizację**

Lp.	Wyszczególnienie	Ilość [szt.]	Cena [zł/szt.]	Koszt [zł]
1	Dostawy urządzeń:			
1.1	Zamknięte naczynie wzbiornicze	1	360	360
1.2	Pompa c.o. z regulatorem ciśnienia	1	1.500	1.500
1.3	Zawór podpionowy	5	400	2.000
1.4	Odpowietrznik	5	100	500
1.5	Zawór przygrzejnikowy	88	40	3.520
1.6	Siłownik termoelektryczny	88	160	14.080
1.7	Sterownik pomieszczenia	24	930	22.320
1.8	Centralna stacja programująca	1	6.000	6.000
	Razem dostawy			50.280
2	Roboty instalacyjne (35% poz. 1)			17.600
3	Roboty budowlane (25% poz. 1)			12.600
	<b>Razem nakłady inwestycyjne</b>			<b>80.480</b>

Tabela 2 - nakłady inwestycyjne na nową instalację

Lp.	Wyszczególnienie	Ilość [szt.]	Cena [zł/szt.]	Koszt [zł]
1	Dostawy urządzeń:			
1.1	Zawór strefowy	24	120	2.880
1.2	Siłownik termoelektryczny	24	160	3.840
1.3	Sterownik pomieszczenia	24	930	22.320
1.4	Centralna stacja programująca	1	6.000	6.000
	Razem dostawy			35.040
2	Roboty instalacyjne (35% poz. 1)			12.260
	<b>Razem nakłady inwestycyjne</b>			<b>47.300</b>

Dalej założono dwa sposoby finansowania inwestycji: ze środków własnych (w przypadku instytucji budżetowych chodzi o dotacje), albo z kredytu komercyjnego. W drugim przypadku przyjęto typowe warunki kredytu inwestycyjnego oferowanego przez banki zachodnie w walutach obcych z płatnością rat kredytowych w [zł] po kursie dnia. Są to kredyty wyraźnie tańsze od oferowanych przez banki krajowe. Przeciętne koszty obsługi takiego kredytu w [zł] wynoszą od 20% do 30% nakładów inwestycyjnych. Tutaj założono 25%.

Dalej założono, że powinna to być inwestycja spłacająca się z oszczędności zużycia ciepła powstałe w wyniku zastosowania systemu. Dla oceny efektywności wyznaczono najprostszы wskaźnik - prosty (statyczny) okres zwrotu nakładów. Okres zwrotu wyznaczano dla rocznych oszczędności zużycia ciepła stanowiących od 15% do 35% kosztów ciepła przed zainstalowaniem systemu (bazowych). Wyniki obliczeń zestawiono w tabelach nr 3 i nr 4.

Tabela 3 - prosty okres zwrotu nakładów inwestycyjnych na modernizację

Poziom oszczędności zużycia ciepła [%]	Prosty okres zwrotu nakładów [lata]	
	kredyt	środki własne
15	8,5	6,8
20	6,3	5,1
25	5,1	4,1
30	4,2	3,4
35	3,6	2,9

Tabela 4 - prosty okres zwrotu nakładów inwestycyjnych na nową instalację

Poziom oszczędności zużycia ciepła [%]	Prosty okres zwrotu nakładów [lata]	
	kredyt	środki własne
15	5,0	4,0
20	3,7	3,0
25	3,0	2,4
30	2,5	2,0
35	2,1	1,7

Jeżeli przyjąć, że typową sytuacją jest modernizacja istniejącej instalacji przy braku środków własnych, co implikuje konieczność skorzystania z kredytu inwestycyjnego, oraz że stopa spodziewanych oszczędności najprawdopodobniej kształtuje się w przedziale od 20% do 30%, to można się spodziewać okresu zwrotu nakładów od 4 do 6 lat co jest bardzo dobrym wynikiem, jak na inwestycje energetyczne. Ponad to ten okres zwrotu nakładów pokrywa się z okresem spłaty zadłużenia, oraz z okresem amortyzacji tego typu sprzętu, co stanowi dodatkową korzyść, bowiem obsługa zadłużenia inwestycyjnego może być praktycznie w całości pokryta z odpisów amortyzacyjnych.

#### 4. Porównanie efektywności różnych sposobów zmniejszenia zużycia ciepła

Modernizacja budynków użyteczności publicznej w celu zmniejszenia zużycia ciepła jest zazwyczaj prowadzona kompleksowo. W całym przedsięwzięciu można wyodrębnić składniki, które wymagają określonych nakładów inwestycyjnych i przynoszą określone oszczędności ciepła. Każdy z takich elementów składowych można scharakteryzować za pomocą wskaźnika względnej oszczędności ciepła i cząstkowego okresu zwrotu nakładów. W tabeli nr 5 zestawiono orientacyjne zakresy tych parametrów.

**Tabela 5 - porównanie efektywności różnych składników modernizacji cieplnej budynków użyteczności publicznej**

Składnik procesu modernizacji cieplnej	Względna oszczędność ciepła [%]	Prosty okres zwrotu nakładów [lata]
Modernizacja technologii węzła/kotłowni	5,...,10	6,...,8
Automatyzacja węzła/kotłowni	3,...,7	3,...,5
Modernizacja instalacji wewnętrznej c.o.	3,...,7	6,...,10
Zastosowanie indywidualnego sterowania programowo - czasowego pomieszczeń	20,...,30	4,...,6
Wymiana stolarki okiennej	5,...,10	10,...,15
Docieplenie ścian budynku	15,...,20	15,...,25

Jest oczywiste że efekty oszczędnościowe pochodzące od różnych składników modernizacji są z sobą powiązane w sposób nieliniowy i nie należy ich sumować, bo można dojść do absurdalnych wniosków. Tym niemniej dane z tabeli 5 pokazują, że pod względem potencjalnych możliwości zmniejszenia zużycia ciepła indywidualne sterowanie temperaturą pomieszczeń może konkurować z tzw. termorenowacją budynku. Jednak termorenowacja przegrywa zdecydowanie jeśli chodzi o okres zwrotu nakładów. Oznacza to po prostu, że indywidualne sterowanie dostawą ciepła do pomieszczeń jest bardzo wydajnym i tanim sposobem oszczędzania ciepła w budynkach użyteczności publicznej. Dlatego warto podjąć próbę opracowania możliwie taniego i prostego systemu realizującego ten rodzaj sterowania. Technologia **Lon Works** daje szansę optymalnego rozwiązania problemu.