



Nowoczesne zarządzanie siecią ciepłowniczą

Prof. dr hab. Inż. Andrzej J. Osiadacz


Szkolenie organizowane w ramach projektu
ENTRAIN
15 luty 2022



Wydział Instalacji Budowlanych,
Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska




Prawidłowa eksploatacja istniejących systemów ciepłowniczych jak również ich rozbudowa nie może być realizowana bez pomocy informatyki. Efektywne zarządzanie systemem wymaga zastosowania zaawansowanych , algorytmów obliczeniowych o dużym stopniu złożoności i odpowiedniej jakości środków technicznych.



Podstawowym elementem oprogramowania używanego do obliczania sieci są komputerowe programy wykorzystujące modele matematyczne elementów sieci.

Opracowywane w oparciu o modele matematyczne oprogramowanie, można ogólnie podzielić na dwie grupy:

- programy symulacyjne,
- programy optymalizacyjne.



Głównym celem stosowania programów symulacyjnych jest badanie zachowania się sieci ciepłowniczych w określonych warunkach.

Rozwiązanie określonego układu równań opisujących elementy sieci , dla założonych wartości obciążenia i zasilania sieci da nam odpowiedź na pytania dotyczące wartości ciśnienia i przepływu w wybranych punktach lub fragmentach sieci.



Algorytmy symulacji statycznej opracowywane są w oparciu o I-sze i II-gie prawo Kirchhoffa oraz równanie przepływu
Danymi wejściowymi programów symulacji statycznej są:

- struktura topologiczna sieci, wymiary geometryczne rur,**
- parametry pracy elementów nierurowych**
- wartości obciążenia oraz zasilania sieci.**


////////////////////////////////////

Algorytmy symulacji umożliwiają realizację następujących funkcji:

- **przeprowadzanie symulacji sieci w całości lub wybranych jej fragmentów w trybie off-line w celu analizy reakcji sieci na określone wymuszenia lub zmiany jej konfiguracji,**
- **symulacja on-line na bazie danych dostarczonych przez system telemetryczny,**
- **ocenę jakości pracy systemu telemetrycznego i urządzeń pomiarowych,**
- **symulacja w celu monitorowania pracy sieci,**
- **śledzenie zmian np. akumulacji ciepła w systemie,**



- wydawanie zapewnień dostawy mocy i ciepła przyszłym odbiorcom,
- sprawdzenie jakości funkcjonowania sieci podczas prowadzenia remontu wybranej jej części,
- określenie masy wody traconej w systemie na skutek nieszczelności,
- ocenę możliwości przepustowych sieci magistralnych i dystrybucyjnych,
- w przypadku awarii sieci określenie straconej masy czynnika i ciepła.




Optymalizacja polega na znalezieniu rozwiązania spełniającego narzucone przez użytkownika warunki. Formułowane jest zadanie optymalizacji (maksymalizacji lub minimalizacji) określonej wielkości (fizycznej, technologicznej lub ekonomicznej) zwane kryterium optymalizacji (wskaźnikiem jakości, funkcją celu) przy odpowiednich ograniczeniach.


Ograniczenia dotyczą dopuszczalnych zakresów zmiany parametrów technicznych lub zasobów.



Cel zarządzania siecią - minimalizacja kosztów eksploatacji sieci ciepłowniczej przy zapewnieniu odpowiednich parametrów dostawy ciepła. Minimalizacja sumy kosztów strat ciepła i kosztów energii pompowania



Przy danym zapotrzebowaniu na ciepło przez odbiorców, zmniejszanie temperatury wody sieciowej (spadek strat ciepła), powoduje zwiększenie strumienia wody (wzrost zużycia energii do pompowania). Zmniejszanie strumienia wody sieciowej (spadek kosztów pompowania), wymaga podniesienia temperatury (wzrost strat ciepła).



Straty ciepła występujące w sieci ciepłowniczej można wyrażać w postaci wartości bezwzględnej - GJ lub wartości względnej - %.

Wartość bezwzględna określa ilość ciepła traconego przez przenikanie ciepła na drodze od nośnika ciepła do gruntu i powietrza zewnętrznego.

////////////////////
Ilość ciepła traconego wyraża się za pomocą wzoru:

$$Q = m c_p (T_p - T_k) \quad [W]$$

gdzie:

m - strumień masy nośnika ciepła płynącego w rurze, kg/s

c_p - ciepło właściwe nośnika ciepła, J/kg K

T_p - początkowa temperatura nośnika ciepła

T_k - końcowa temperatura nośnika ciepła

Straty ciepła U_s wyrażone w % określają udział strat ciepła w całkowitej ilości energii cieplnej wytworzonej w ciepłowni i przesyłanej siecią ciepłowniczą.


Wyrażane są za pomocą wzoru:

$$U_s = \frac{Q_s}{Q_s + Q_w} 100, \%$$

gdzie:

Q_s - moc strat ciepła, kW

Q_w - moc węzłów cieplnych, kW



Różnica między temperaturą wody sieciowej w źródle ciepła i w węźle ciepłowniczym określa wartość schłodzenia w warunkach ustalonych.

$$\Delta t = t_{zr} - t_w$$

gdzie:

t_{zr} - temperatura w źródle ciepła

t_w - temperatura w węźle ciepłowniczym



Ogólnie straty ciepła w sieci ciepłowniczej można wyrazić za pomocą wzoru:

$$Q_s = \frac{\Delta T}{R_c} L, [W]$$

gdzie:

ΔT - różnica temperatury między nośnikiem ciepła a temperaturą otoczenia, [K]

R_c - opór przenikania ciepła od nośnika ciepła do powietrza zewnętrznego, [mK/W]

L - długość odcinka sieci, [m]

Aby zmniejszyć straty ciepła należy zmniejszyć różnicę temperatury lub zwiększyć opór przenikania ciepła.



Obniżenie temperatury wody zasilającej powoduje:

- **wzrost przepływu wody w sieci (większe straty ciśnienia),**
- **konieczność zmian parametrów pracy węzłów cieplnych,**
- **wzrost kosztów pompowania wody.**

////////////////////////////////////

Zużycie energii elektrycznej obliczamy z równania:

$$E_{\Delta P} = \sum_{i=1}^N \sum_{T=T_{min}}^{T=T_{max}} \sum_{t_r=t_T^p}^{t_r=t_T^k} P_{t_r,T,i}^w (t_T^k - t_T^p)$$

gdzie:

P – pobór mocy na wale pompy , [kW],

t_r_krok czasowy.

Problem optymalizacji sprowadza się więc do minimalizacji wartości funkcji będącej sumą kosztów strat ciepła i energii pompowania:

$$K_{SC} = K_{\Delta Q} + K_{\Delta P}$$


gdzie: $K_{\Delta Q}$ – koszty strat ciepła, $K_{\Delta P}$ – koszty pompowania, wyrażone wzorami: $K_{\Delta Q} = E_{\Delta Q} k_{cp}$, $K_{\Delta P} = E_{\Delta P} k_{el}$ w których:

$E_{\Delta Q}$ – straty ciepła w sieci podczas transportu ciepła, [GJ]


$E_{\Delta P}$ – energia zużyta do pompowania wody sieciowej, [kWh]

k_{el} – cena energii elektrycznej, [zł/kWh]

k_{cp} – cena ciepła, [zł/GJ]



Optymalizacja dwukryterialna zwiększa efektywność zarządzania siecią ciepłowniczą poprzez wyznaczenie temperatury i strumienia objętości wody zasilającej sieć, będących kompromisem między kosztami pompowania a stratami ciepła



Pakiety obliczeniowe wymagają danych wejściowych w określonych strukturach i ilościach. Ważne jest więc, aby dane źródłowe były wystarczająco obszerne, gromadzone z myślą aktualnych i przyszłych zadaniach obliczania sieci ciepłowniczej oraz aby koszty dostępu do danych i ich aktualizacja były możliwie niskie.

Postulaty te spełniają relacyjne bazy danych.



Możliwości prezentacji danych i wyników obliczeń przy pomocy typowych mechanizmów zarządzania bazą danych ograniczają się głównie do przeglądania i drukowania różnego rodzaju tabel i zestawień. Znacznie wygodniejszą dla użytkownika jest graficzna forma prezentacji wyników. Narzucającym się rozwiązaniem jest w tej sytuacji środowisko GIS, jako wygodnego pośrednika pomiędzy operatorem a bazą danych.



Dziękuję za uwagę

Prof. dr hab. inż. Andrzej J. Osiadacz
Politechnika Warszawska
Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki
i Inżynierii Środowiska
ul. Nowowiejska 20
00-653 Warszawa
andrzej.osiadacz@is.pw.edu.pl