

Danuta Brydak-Jeżowiecka
Janusz Gielda
Janusz Jeżowiecki

WYMIAROWANIE INSTALACJI CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ Z OBIEGIEM ODWROTNYM

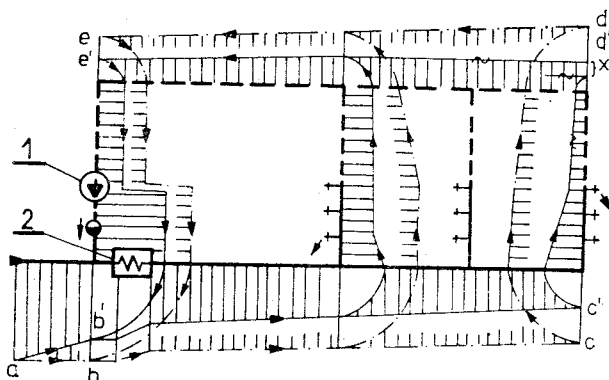
Dotychczas stosowane układy cyrkulacyjne w instalacjach ciepłej wody użytkowej pracują według obiegu tradycyjnego, którego schemat przedstawiono na rysunku 1. W rozwiązaniu tym, przy pewnych wartościach poboru ciepłej wody, ustala się w części przewodów cyrkulacyjnych ciśnienie wyższe niż w przewodach rozprowadzających (x na rys. 1), co powoduje występowanie niepożądanych przepływów między pionami. Niekorzystne jest także stosowanie tradycyjnych układów cyrkulacyjnych w budynkach wznoszonych metodami uprzemysłowionymi, które narzucają pionu ciepłej wody o stałych średnicach (w zdecydowanej części pionu większych od niezbędnych). Wówczas układ cyrkulacyjny ma niską stateczność hydrauliczną i zazwyczaj nieprawidłowy rozływ wody. Przypomnieć także należy, że w rozwiązaniu tradycyjnym sieć cyrkulacyjna jest dodatkowym wyposażeniem instalacji, a ponadto jej funkcjonowanie ograniczone jest tylko do okresów małych poborów ciepłej wody.

Nowym, zupełnie innym rozwiązaniem, jest instalacja z tzw. odwrotną cyrkulacją (rys. 2), której pomysłodawcą był Żdanov [7].

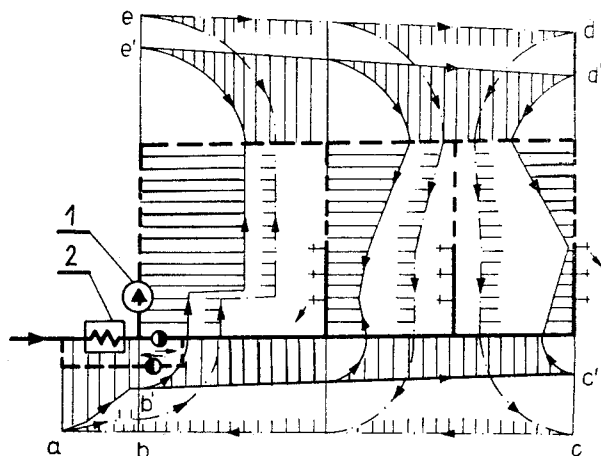
Istotą jego pomysłu jest wywołanie krążenia ciepłej wody w instalacji rozbioreczo-cyrkulacyjnej w kierunku przeciwnym do występującego w układach tradycyjnych. Żdanov wykazał, że w układzie tym wykres ciśnień jest zawsze „zamknięty” i tym samym nie występują zakłócenia w pracy obiegu cyrkulacyjnego. Sieć cyrkulacyjna pozwala przy tym na pierwszocieniowe zasilanie odbiorców w ciepłą wodę w czasie dużych i szczytowych jej poborów, co umożliwia projektowanie przewodów rozdzielczych o mniejszej średnicy niż w układzie tradycyjnym. Poza tym przy stosowaniu uprzemysłowionych technik budowlanych nie występuje w praktyce przewymiarowanie pionów, co też wpływa na oszczędności materiałowe. Zastosowanie metody względnych parametrów [2] do obliczeń odwróconego układu cyrkulacyjnego zapewnia wysoką stateczność hydrauliczną instalacji. Obieg odwrócony, podobnie jak tradycyjny, może być stosowany we wszystkich układach ciepłej wody użytkowej, tzn. bezzasobnikowych i zasobnikowych, z jednolub dwustopniowym podgrzewaniem wody, z dolnym lub górnym rozdziałem przewodów rozprowadzających i cyrkulacyjnych.

Ze względu na powyższe zalety odwróconego obiegu cyrkulacyjnego, w Politechnice Wrocławskiej podjęto prace badawcze prowadzące do wdrożenia instalacji ciepłej wody użytkowej z odwrotną cyrkulacją. Polegały one na poznaniu zjawisk hydraulicznych i cieplnych

Ze względu na powyższe zalety odwróconego obiegu cyrkulacyjnego, w Politechnice Wrocławskiej podjęto prace badawcze prowadzące do wdrożenia instalacji ciepłej wody użytkowej z odwrotną cyrkulacją. Polegały one na poznaniu zjawisk hydraulicznych i cieplnych



Rys. 1 Schemat tradycyjnego układu cyrkulacyjnego wraz z alternatywnym wykresem ciśnień: przy wyłącznej pracy cyrkulacji (a, b, c, d, e) i przy uwzględnieniu poboru ciepłej wody użytkowej (a', b', c', d', e'); 1 — pompa cyrkulacyjna, 2 — wymiennik ciepłej wody użytkowej.



Rys. 2 Schemat obiegu odwrotnego wraz z alternatywnym wykresem ciśnień: przy wyłącznej pracy cyrkulacji (a, b, c, d, e) i przy uwzględnieniu poboru ciepłej wody użytkowej (a', b', c', d', e'); 1 — pompa cyrkulacyjna, 2 — wymiennik ciepłej wody użytkowej.

w tego rodzaju układach oraz na kompleksowej analizie ich funkcjonowania. Rezultatem tych badań jest sformułowanie dotąd nieznanej metody wymiarowania układów z odwrotnym obiegiem. Powstała ona w wyniku badań symulacyjnych przeprowadzonych za pomocą procedur numerycznych. Ewentualne wykorzystanie w tym samym celu metody eksperymentalnej nie mogło być bowiem brane pod uwagę, ze względu na konieczność podjęcia długotrwałych i kosztownych pomiarów dużej liczby instalacji w budynkach rzeczywistych.

W artykule zaprezentowano wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych instalacji ciepłej wody z odwrotną cyrkulacją.

Zasady wymiarowania instalacji

Zadaniem instalacji z odwrotnym obiegiem jest zapewnienie dostarczania ciepłej wody do odbiorców, jednocześnie przewodami cyrkulacyjnymi i rozprowadzającymi, w okresach wzmożonego zapotrzebowania. Najbardziej ekonomiczne pod względem materiałowym jest więc dostarczanie ciepłej wody podczas maksymalnego chwilowego jej poboru, w równych częściach przez przewody rozprowadzające i cyrkulacyjne. Wobec tego przyjęto zasadę, że średnice sieci przewodów rozprowadzających i cyrkulacyjnych będą dobierane na podstawie zredukowanych do połowy chwilowych strumieni oraz dopuszczalnych prędkości przepływu ciepłej wody [5]. Przyjęto również, że piony powinny charakteryzować się stałymi i możliwie małymi średnicami, dobranymi jednak tak, aby prędkość u podstawy pionu nie przekraczała wartości dopuszczalnych przy przepływie ciepłej wody, równym połowie maksymalnego chwilowego jej poboru przez użytkowników zasilanych danym pionem.

Założono taki dobór pompy cyrkulacyjnej, współpracującej z odwrotnym obiegiem, aby jej charakterystyka przepływu przebiegała ponad teoretycznym punktem hydraulicznej pracy układu, wyznaczonym parą wielkości:

- obliczeniowym strumieniem wody cyrkulacyjnej,
- stratami ciśnienia w obiegu cyrkulacyjnym przy braku poboru ciepłej wody.

W praktyce należy jednak dobrać pompę mającą rzeczywistą wydajność większą o 20% od wartości teoretycznej, ze względu na jej starzenie się. Wyznaczenie wielkości wyjściowych do doboru pompy cyrkulacyjnej można przeprowadzić metodą względnych parametrów [2] lub metodą rekurencyjną [3]. Na podstawie analiz [3] stwierdzono, że spośród pomp krajowych, do pracy w instalacjach ciepłej wody z odwróconym obiegiem nadają się w zasadzie tylko pompy typu 32C013, produkowane przez Grudziądzką Odlewnię i Emaliernię.

Badania symulacyjne instalacji

W celu przeprowadzenia badań symulacyjnych na maszynie cyfrowej, niezbędne było wcześniejsze opracowanie modelu instalacji ciepłej wody użytkowej. Model taki integruje niżej poruszane zagadnienia, związane z odwzorowaniem geometrycznej struktury instalacji, z procesami hydraulicznymi i cieplnymi oraz z opisem matematycznym poboru ciepłej wody.

Odwzorowanie geometrycznej budowy sieci przewodów

Rozwiązywanie problemów związanych z obliczaniem instalacji ciepłej wody użytkowej, przy jednoczesnym uwzględnieniu cyrkulowania wody, wymaga takiego jej odwzorowania, które pozwoliłoby na przeprowadzenie obliczeń w możliwie prosty sposób. Wobec tego zdecydowano się na użycie teorii grafów do matematycznego opisu geometrycznej struktury instalacji ciepłej wody. Teoria ta stosowana jest szeroko dla potrzeb opisu sieci elektrycznych, wodociągowych, kanalizacyjnych i innych [1]. Aparat teorii grafów wydaje się być najodpowiedniejszy do tego celu, pozwala bowiem na sprawne zapisanie geometrycznej struktury instalacji, zachowując jednocześnie podstawowe prawa fizyczne, którym instalacja podlega. Jednocześnie matematyczny opis geometrii instalacji, opracowany na podstawie teorii grafów, może być łatwo zapisany w pamięci maszyny cyfrowej, pozwalając na optymalne jej wykorzystanie i zmniejszenie liczby danych niezbędnych do opisu topologii sieci.

Model matematyczny procesów hydraulicznych

Przy rozwiązywaniu problemów związanych z projektowaniem i eksploatacją instalacji ciepłej wody wyposażonych w instalację cyrkulacyjną, istotne są zadania mające na celu określenie przepływów oraz przebiegu strat energetycznych w układzie dla różnych warunków jego pracy. W tym celu zbudowano model matematyczny procesów hydraulicznych, pozwalający na znalezienie ciśnień w poszczególnych węzłach instalacji oraz przepływów we wszystkich jego odcinkach, przy zadanej wartości i strukturze poboru ciepłej wody. Znane jednak muszą być przy tym wskaźniki charakteryzujące elementy instalacji, tzn. średnice, długości i chropowatości odcinków przewodów, związane z nimi opory miejscowe oraz charakterystyki hydrauliczne zainstalowanych pomp.

Zagadnienie to rozwiązywane jest za pomocą iteracyjnej metody Crosa [6], z uwzględnieniem zależności Darcy-Weisbacha, opisującej straty ciśnienia w przewodach.

Model matematyczny spadku temperatury

Model ten służy do obliczania początkowej i końcowej temperatury ciepłej wody w dowolnym odcinku instalacji z obiegiem odwrót-

nym, w zależności od kierunku i wartości występującego w nim natężenia przepływu ciepłej wody. Założeniem do budowy modelu były prawa Kirchhoffa, które po odpowiedniej modyfikacji [4] mogą opisywać również procesy cieplne. Na podstawie zmodyfikowanych praw Kirchhoffa, po przyjęciu odpowiednich założeń (stała wartość ciepła właściwego i gęstości wody) i po uwzględnieniu parametrów charakteryzujących instalację (średnice i długości przewodów, oporności cieplne ich izolacji, temperatura otoczenia, współczynniki przenikania ciepła dla poszczególnych odcinków przewodów), sformułowano układ odpowiednich równań liniowych. Jego rozwiązanie umożliwia obliczenie temperatur we wszystkich węzłach instalacji, przy zadanych przepływach wody przez poszczególne odcinki (przepływ wyznacza się z modelu matematycznego procesów hydraulicznych dla zadanego globalnego poboru ciepłej wody).

Model matematyczny poboru ciepłej wody

Pewien założony, globalny strumień ciepłej wody może być pobierany w instalacji na wiele różnych sposobów. Każdy z nich określony jest stanem instalacji, charakteryzującym się liczbą otwartych punktów czerpalnych, ich usytuowaniem w geometrycznej strukturze instalacji oraz wartościami wypływających z nich strumieni wody. Stan instalacji ma znaczący wpływ na rozkład ciśnień i temperatur oraz na przepływy w poszczególnych odcinkach. Ponieważ realizację pewnego poboru wody posiadają cechy zjawiska losowego, stworzono model probabilistyczny [3], pozwalający na wygenerowanie możliwych stanów pracy instalacji przy zadanym globalnym poborze ciepłej wody.

Weryfikacja modeli

W celu zweryfikowania przyjętych zasad wymiarowania układów ciepłej wody z obiegiem odwrotnym, przeanalizowano pracę pięciu odpowiednio zaprojektowanych instalacji [3]. Podstawą analizy była symulacja pracy tych układów, przeprowadzona za pomocą maszyn cyfrowych. W tym celu przesłedzono zjawiska hydrauliczne i cieplne, występujące w badanych instalacjach podczas każdego z wielu indywidualnych stanów ich pracy, przy różnych globalnych wartościach poboru ciepłej wody. Jakość badanych instalacji poddano następnie ocenie, analizując wartości następujących wskaźników:

— liczba odcinków, w których prędkość przepływu wody jest większa od dopuszczalnej,

— liczba odcinków, w których prędkość przepływu wody jest mniejsza od założonej minimalnej (kryterium laminarności przepływu),

— minimalne ciśnienie w węźle zasilającym instalację, zapewniające odpowiednie ciśnienie we wszystkich punktach czerpalnych,

— iloraz strumienia wody zasilającej instalację przez pompę cyrkulacyjną i strumienia wody pobieranej przez instalację.

Dodatkowo sprawdzono też, czy temperatury we wszystkich węzłach instalacji nie osiągają wartości niższych od założonych. Przyjęto, iż kryterium poprawności działania instalacji jest nieprzekraczanie przez przyjęte wskaźniki założonych dla nich wcześniej wartości krytycznych.

Przeprowadzona analiza pozwoliła pozytywnie ocenić zaproponowane metody wymiarowania instalacji ciepłej wody z odwrotną cyrkulacją. Można mieć jedynie uwagi do nieco zwiększonych (w porównaniu z rozwiązaniem tradycyjnym) wartości wymaganych ciśnień w źródle, szczególnie w budynkach XI-kondygnacyjnych.

Wnioski

1. Stwierdzone zalety układów z odwróconym obiegiem (brak zakłóceń w działaniu instalacji cyrkulacyjnej, możliwości zmniejszenia średnic przewodów rozprowadzających dzięki pierścieniowemu zasilaniu odbiorców w ciepłą wodę, wysoka stateczność hydrauliczna układu cyrkulacyjnego), w porównaniu z instalacjami tradycyjnymi powinny skłaniać do szerokich zastosowań takich rozwiązań w praktyce.

2. Eksperymentalna weryfikacja zasad wymiarowania instalacji ciepłej wody z obiegiem odwrotnym, polegająca na ocenie ich działania przy różnych wartościach poboru wody i różnych stanach pracy potwierdza ich poprawność, dając tym samym możliwość podjęcia działań w celu wdrożenia tego typu instalacji do praktyki.

3. Postuluje się prowadzenie dalszych prac związanych z analizą większej liczby instalacji ciepłej wody z odwrotną cyrkulacją, których celem byłoby opracowanie prostych zależności na określenie strat ciśnienia w instalacji podczas maksymalnego poboru ciepłej wody, sformułowanie racjonalnych wymogów stawianych pompom współpracującym z tego typu instalacjami oraz opracowanie uproszczonych metod obliczania układu cyrkulacyjnego.

LITERATURA

1. J. CIESIELSKI: Przegląd metod odwzorowania geometrycznej budowy sieci wodociagowych z punktu widzenia zastosowań EMC. Archiwum Hydrotechniki, nr 2, 1976.
2. J. JEŻOWIECKI i inni: Instrukcja projektowania pompowych układów cyrkulacyjnych w instalacjach c.w.u.. COBRTI „Instal”, Warszawa 1985.

3. J. JEŻOWIECKI i inni: Opracowanie metody wymiarowania instalacji ciepłej wody użytkowej z odwróconym obiegiem cyrkulacyjnym. Raport Instytutu Inżynierii Chemicznej i Urządzeń Ciepłych Politechniki Wrocławskiej, SPR-33, Wrocław 1985.
 4. J. JEŻOWIECKI i inni: Układy cyrkulacyjne w systemach ciepłej wody użytkowej: Analiza pracy układów cyrkulacyjnych i ich metod obliczeniowych. Raport Instytutu Inżynierii Chemicznej i Urządzeń Ciepłych Politechniki Wrocławskiej, SPR-11, Wrocław 1983.
 5. Materiały pomocnicze do projektowania instalacji wody zimnej, ciepłej i kanalizacji, COBRTI „Instal”, BOINTE, Warszawa 1981.
 6. E. W. MIELCARZEWICZ: Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę. Arkady, Warszawa 1977.
 7. I. A. ŻDANOV: Poryśnienie nadzieźności cirkulacji wody v sistemach gorącego vodosnabżenia. Vodosnabżenie i Sanitarnaja Technika, nr 6, 1975.
-

DIMENSIONING OF A WARM WATER SUPPLY SYSTEM WITH REVERSE CYCLE

The concept of a novel, material-saving warm water supply system is presented. The system works on the

basis of the Zhdanov concept and involves the so-called reverse cycle. The simulation procedure and the results obtained are discussed in detail. Based on these data, the principles of dimensioning such a system have been determined.