

Paweł RYLIK

## ZASTOSOWANIE MODELU MATEMATYCZNEGO DO BADAŃ CHARAKTERYSTYK STATYCZNYCH OGRZEWANIA JEDNORUROWEGO

**Streszczenie.** W artykule omówiono możliwość badania wybranych zagadnień pracy ogrzewań jednorurowych na modelu matematycznym. Przedstawiono założenia i algorytm modelu, a także przykładowe wyniki niektórych obliczeń. Badania mają charakter porównawczy i mogą stanowić wskazówkę dla racjonalnego projektowania ogrzewań jednorurowych.

### 1. Cel i zakres przeprowadzonych badań

Jedną z przyczyn braku popularności ogrzewań jednorurowych jest większa niż w ogrzewaniach dwururowych złożoność procesów zachodzących przy zmianie ilości płynącej wody oraz wzajemny wpływ grzejników przyłączonych do jednego pionu. Niewzględnienie tych zjawisk przy ustaleniu wytycznych projektowania powoduje złe spełnianie funkcji przez eksploatowane instalacje jednorurowe, a w konsekwencji upowszechnienie negatywnych opinii o ogrzewaniach jednorurowych w ogóle.

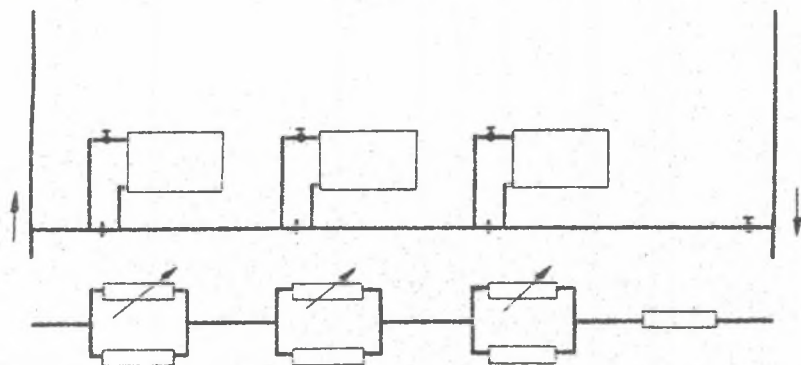
Liczne zalety ogrzewań jednorurowych [1], [4] przemawiają za ich upowszechnieniem. Nie może to jednak nastąpić bez rozpoznania wpływu wielkości zależnych od projektanta na jakość spełniania funkcji przez instalację ogrzewczą oraz jej koszty inwestycyjne i eksploatacyjne. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie złożeń i niektórych wyników badań charakterystyk statycznych ogrzewania jednorurowego na modelu matematycznym. Przyjęto najprostszy w realizacji system ze stałą opornością bocznicy (kryza) i zaworem jednodrogowym w obiegu grzejnika (np. system KT - rys. 1).

Badaniami objęto wpływ przyjętego obliczeniowego współczynnika rozprężności  $\beta$ , spadku temperatury wody w instalacji  $t_z - t_p$  oraz ilości grzejników w jednym pionie lub poziomie na wrażliwość ogrzewania jednorurowego na rozregulowanie spowodowane wyłączeniem grzejnika bądź zmianą ilości płynącej wody.

## 2. Opis przyjętego modelu matematycznego

### 2.1. Założenia

Analizowany jest jeden pion (lub poziom) instalacji. Koncepcja modelu opiera się na podstawowych równaniach opisujących dla stanów ustalonych bilanse cieplne grzejnika i pomieszczenia oraz przepływu wody przez układ połączonych oporności hydraulicznych (rys. 1).



Rys. 1. Modelowany fragment instalacji jednorurowej i jego interpretacja hydrauliczna

Kierowano się następującymi założeniami:

- a) opory przepływu zależą od kwadratu natężenia przepływu wody

$$\Delta p = r \cdot G^2$$

co oznacza przyjęcie ruchu burzliwego;

- b) oporności wszystkich obiegów grzejnikowych (tzw. małych obiegów) są jednakowe. Wynika to z dążenia do typizacji, czyli powtarzalności prefabrykowanych segmentów;
- c) przepływ wody przez układ (rys. 1) wywołany jest ciśnieniem pochodzącym od pompy (w węźle cieplnym lub źródle) oraz ciśnieniem grawitacyjnym, pomniejszonym o spadek ciśnienia w dwururowej sieci rozdzielczej. Ponieważ dokładne określenie tych wielkości wymagałoby objęcie modelem całej instalacji, przyjęto upraszczające założenie, że dyspozycyjna różnica ciśnień dla odcinka jest stała, co jest słuszne pod warunkiem, że spadek temperatury wody w odcinku wskutek rozregulowania zmienia się nieznacznie, a pozostałe odcinki instalacji budynku pracują w sposób niezakłócony. Duże zmiany  $\Delta t$  oraz zakłócenie całej instalacji mają miejsce, gdy analizujemy zakłócenie w postaci zmian ciśnienia dyspozycyjnego; wówczas omawiane założenie nie obowiązuje;

d) strata ciepła pomieszczenie pokrywana jest w całości wydajnością cieplną grzejnika. Nie ma więc w pomieszczeniu dodatkowych źródeł ciepła, jak również przenikania ciepła przez ściany wewnętrzne; nie uwzględniono również oddawania ciepła przez rury.

Wspomniane we wstępie założenie przyjęcia stanu ustalonego oraz założenie ostateczne (d) powodują, iż w rezultacie obliczeń uzyskuje się odchyłki temperatur wewnętrznych maksymalne co do wartości bezwzględnej w stosunku do tych, które wystąpią w obiekcie rzeczywistym. Wyniki dotyczyć będą zatem abstrakcyjnego przypadku najbardziej niekorzystnego, co jest dopuszczalne (a nawet wskazane) z uwagi na ich głównie porównawczy charakter.

## 2.2. P r z e b i e g o b l i c z e ń

Model matematyczny zrealizowano w postaci programu na e.m.c.

Obliczenia przebiegają następująco:

Dane są współczynniki  $L$  określające straty ciepła pomieszczenia:

$$Q = L \cdot (t_w - t_{zew})$$

oraz dla stanu nominalnego ( $t_{zew} = -20^{\circ}\text{C}$ ):

- temperatura wody zasilającej,
- natężenie przepływu wody,
- współczynnik rozprężu wody.

Na tej podstawie program określa powierzchnie grzejników, oporności bocznic oraz wymaganą różnicę ciśnień dla odcinka.

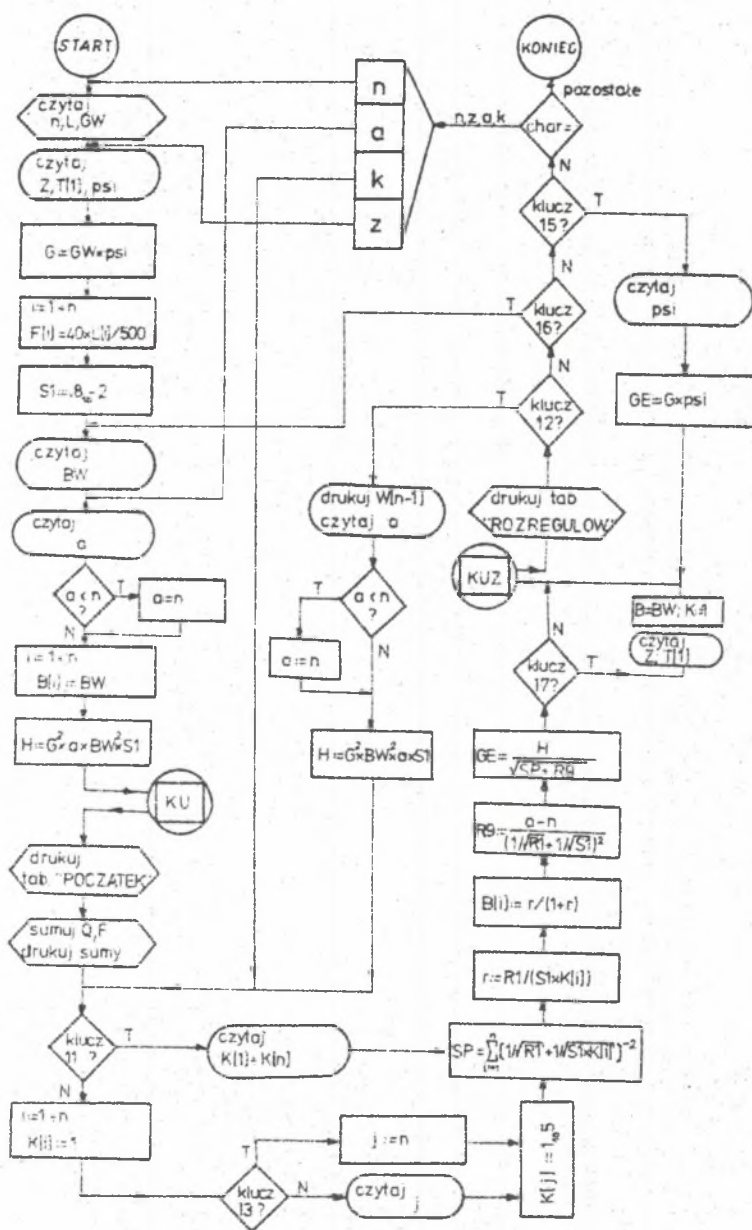
Następnie można dowolnie zmienić warunki pracy tak "zaprojektowanej" instalacji poprzez:

- przydkwlenie lub wyłączenie grzejnika (jednego lub kilku),
- zmianę temperatury zewnętrznej,
- zmianę temperatury zasilania,
- zmianę natężenia przepływu wody (ogółem).

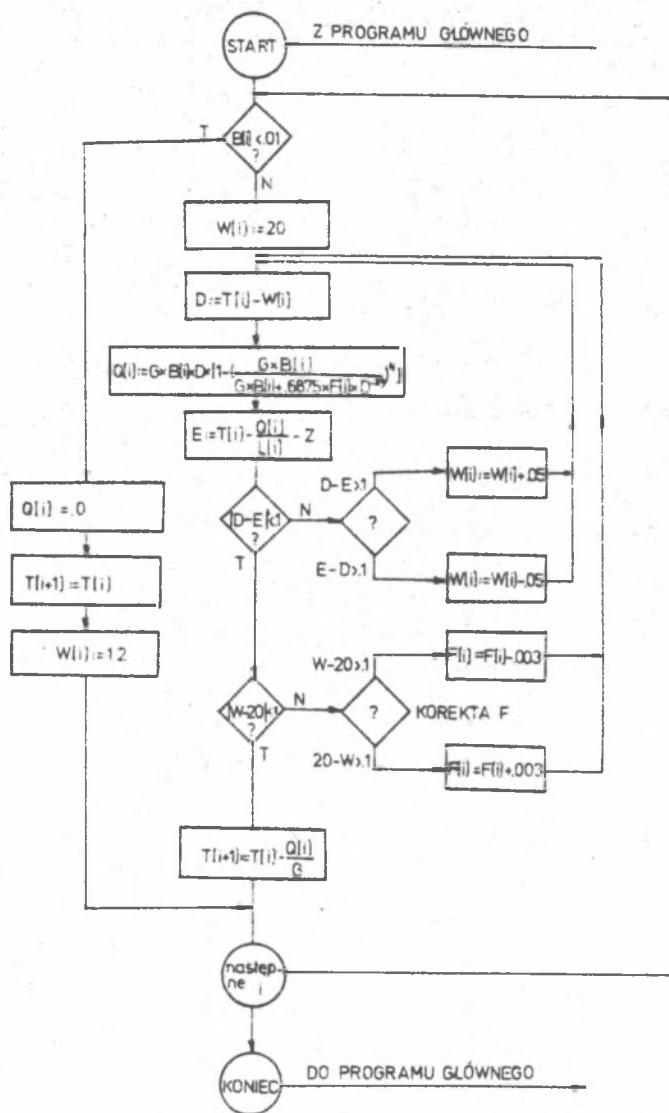
Ustalają się wówczas nowe wartości przepływów i temperatur wody, wydajności cieplnej grzejników oraz temperatur wewnętrznych. Wielkości te oraz niektóre dane wejściowe drukowane są w tabelach.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono schemat blokowy programu. Znaczenie fizyczne ważniejszych zmiennych podano poniżej:

- $n$  - ilość grzejników (= ilości pomieszczeń),
- $i$  - numer grzejnika,
- $j$  - numer grzejnika wyłączzonego
- $G_W, G$  - przepływ wody przez pion (poziom),
- $G_E$  - przepływ zmieniony wskutek rozregulowania,
- $T$  - temperatura wody,



Rys. 2. Schemat blokowy programu



Rys. 3. Schemat blokowy procedury

- W - temperatura pomieszczenia,  
 R1 - oporność boczniccy,  
 S1 - oporność obiegu grzejnikowego,  
 R9 - oporność przewodów pionu (poziomu),  
 B, BW - współczynnik rozprywu, współczynnik rozprywu znamionowy,  
 H - ciśnienie dyspozycyjne,  
 F - powierzchnia grzejnika,  
 L - współczynnik określający straty ciepłe pomieszczenia,  
 SP - oporność całego pionu (poziomu),  
 K - mnożnik do oporności grzejnika (dławienie, wyłączenie),  
 Q - strumień ciepła oddawany przez grzejnik w warunkach znamionowych,  
 QZ - strumień ciepła w warunkach zmienionych,  
 a - stosunek oporu hydraulicznego całego pionu do oporu jednej boczniccy.

### 3. Opis przeprowadzonych badań i ich przykładowe wyniki

W dalszej części opracowania stosuje się następujące oznaczenia:

$$\beta - \text{współczynnik rozprywu} = \frac{G_{\text{grzejn}}}{G_{\text{pionu}}}$$

a - stosunek oporu pionu (poziomu) do oporu jednej boczniccy

$\varphi$  - względna wydajność cieplna  $\frac{Q}{Q_{\text{nomin.}}}$

$\psi$  - względne natężenie przepływu  $\frac{G}{G_{\text{nomin.}}}$

n - ilość grzejników w układzie

$\Delta t$  - obliczeniowy (projektowany) spadek temperatury wody:  $t_z - t_p$

#### 3.1. Wyłączenie lub przydławienie dowolnego grzejnika (system bocznicowy)

Wyłączenie grzejnika powoduje zmniejszenie natężenia przepływu wody przez układ przy jednoczesnym podwyższeniu temperatury zasilania grzejników położonych za wyłączonym. Wpływ na wydajność grzejników położonych przed wyłączonym jest więc ujemny, a za wyłączonym - dodatni i ujemny jednocześnie. Ilustruje to tabela 1, w której przedstawiono wartości temperatur w pomieszczeniach dla różnych warunków umiejscowienia wyłączonego grzejnika w instalacji złożonej z 5 grzejników.

Tabela 1

Temperatury w pomieszczeniach przy wyłączeniu pierwszego, trzeciego i piątego grzejnika ( $n = 5$ ,  $\beta = 0,5$ ,  $t_{zew} = -20^{\circ}$ ,  $t_z/t_p = 110/70$ ,  $a = 6$ )

Wyłączony	Temp. pomieszczenia $^{\circ}\text{C}$				
	1	2	3	4	5
Pierwszy	-	22,2	21,5	20,5	19,8
Trzeci	19,5	18,8	-	21,1	20,2
Piąty	19,5	18,8	18,2	17,4	-

Na rysunku 4 przedstawiono - dla tej samej instalacji - wpływ regulacji grzejnika trzeciego (przez przydkawienie zaworu na grzejniku) na względną wydajność cieplną grzejnika pierwszego, ostatniego oraz ogólną całego modelowanego odcinka.

### 3.2. Wyłączenie ostatniego grzejnika jako przypadek najbardziej niekorzystny

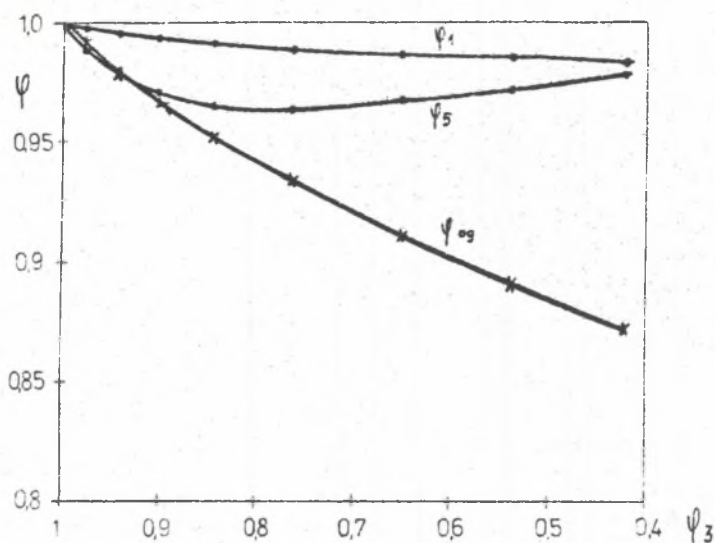
Największy spadek temperatury powietrza wystąpi w pomieszczeniu poprzedzającym pomieszczenie z wyłączonym grzejnikiem, a jednocześnie wtedy, gdy wyłączony zostanie ostatni grzejnik. Taki przypadek przeanalizowano dokładnie w celu określenia wpływu obliczeniowych temperatur wody, współczynnika rozprywu oraz ilości grzejników w 1 pionie (poziomie) na zakłócenie pracy instalacji przy wyłączeniu grzejnika.

Inną wielkością mającą wpływ na wrażliwość ogrzewania jednorurowego na rozregulowanie jest stosunek oporu hydraulicznego całego pionu (poziomu) do oporu jednej bocznicy, oznaczony jako "a".

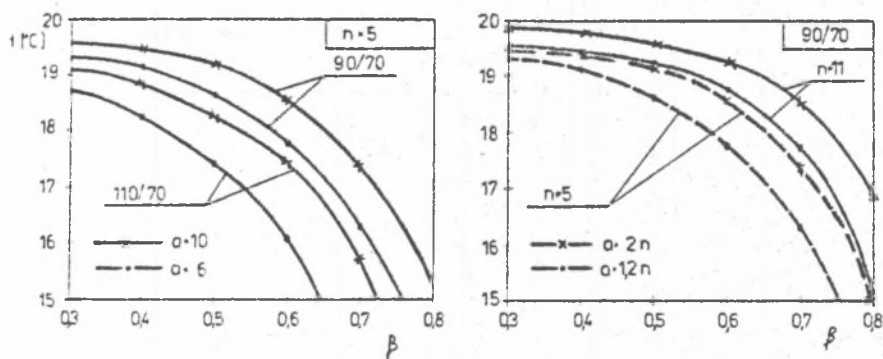
Dla przykładowo wybranych wartości  $a$ ,  $\Delta t$  i  $n$  oraz  $\beta = 0,3 \div 0,8$  wpływ wyłączenia ostatniego grzejnika na temperaturę w przedostatnim pomieszczeniu przedstawiono na rys. 5.

### 3.3. Zmiana ilości wody

Zmiana ilości wody płynącej przez układ jednorurowy występuje m.in. przy wyłączeniu grzejnika i wpływa w sposób niejednakowy na wydajność poszczególnych grzejników, co ilustruje rysunek 4. Niezależnie od tego znajomość wpływu zmian ilości wody na zachowanie ogrzewania jednorurowego jest niezbędna przy przeprowadzeniu regulacji nastawczej całego układu, zwłaszcza



Rys. 4. Wpływ regulacji grzejnika trzeciego ( $\psi_3$ ) na ogólną względną wydajność cieplną grzejnika pierwszego ( $\psi_1$ ) i ostatniego ( $\psi_5$ ), dla  $n = 5$ ,  
 $\beta = 0,5$ ,  $t_z/t_p = 110/70$ ,  $t_{zew} = -20$



Rys. 5. Temperatura w przedostatnim pomieszczeniu przy wyłączeniu ostatniego grzejnika ( $t_{zew} = -20$ )



cza ogrzewania poziomego, gdzie może wystąpić kolizja krążeń, a także przy określeniu sposobu przyłączenia instalacji do sieci ciepłowniczej. Podobnie jak poprzednio, zakłócenie wpływa najsilniej na temperaturę w ostatnim pomieszczeniu.

Na rysunku 6 przedstawiono wpływ zmian ilości wody w zakresie 60-140% wartości nominalnej na średnią względną wydajność cieplną ostatniego grzejnika oraz całej instalacji ( $\varphi_{gr} = Q/Q_{inst.}$ ), dla różnych  $\beta$ ,  $\Delta t$  i  $n$ .

#### 4. Omówienie wyników

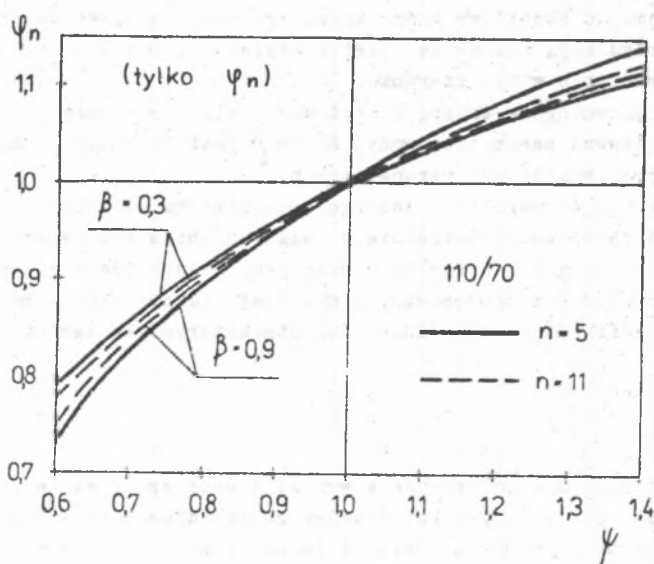
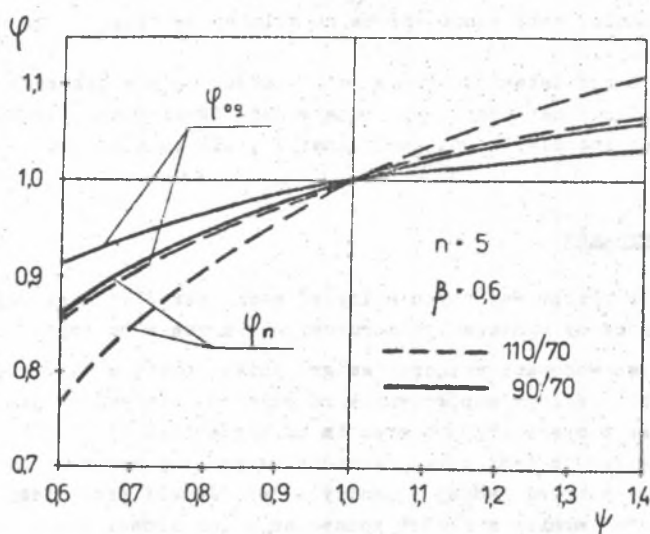
Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można określić następujące charakterystyczne cechy ogrzewań jednorurowych z kryzą w bocznicy:

- a) Zakłócenie spowodowane wyłączeniem grzejnika jest tym większe, im wyższy jest obliczeniowy współczynnik rozprywu  $\beta$ , im wyższy jest obliczeniowy spadek temperatury  $\Delta t$  oraz im mniejsza jest ilość grzejników "n" na wspólnym pionie (poziomie). Ponadto decydujący wpływ ma tu stosunek oporu pionu do oporu jednej bocznicy - "a". Jeżeli przyjmiemy, że ilość grzejników "n" wynika z ilości kondygnacji lub ilości pomieszczeń w mieszkaniu (dla systemu KT), to można wartość "a" przyjąć taką, jaka wynika z obliczeń hydraulicznych, bądź też w sposób sztuczny ją zwiększać, przyjmując dodatkowy opór (kryzę) na rurociągu. Ma to ścisły związek z regulacją nastawczą całej instalacji i powinno stanowić przedmiot dalszych prac w tym kierunku.
- b) Zakłócenie spowodowane zmianą ilości wody zależy w sposób istotny tylko od obliczeniowych parametrów wody. Wpływ  $\beta$  jest niewielki i ma znaczenie tylko przy mniejszych wartościach  $n$ .
- c) Zagadnienie wpływu regulacji jednego grzejnika na wydajność pozostałych wymaga dalszego rozpatrzenia z uwzględnieniem możliwości stosowania termostatycznych zaworów grzejnikowych. Dalsze prace w tym kierunku można prowadzić z zastosowaniem opisanego tu programu - po jego niewielkiej modyfikacji, uwzględniającej charakterystykę takiego zaworu.

#### 5. Podsumowanie

Przyjęta metoda daje interesujące wyniki i będzie punktem wyjścia do dalszych analiz, obejmujących kompleksowo całość zjawisk cieplnych i hydraulicznych zachodzących w instalacji jednorurowej, w tym również kolizję krążeń. Na tej podstawie będzie można podać założenie do wytycznych projektowania ogrzewań jednorurowych.

Uniwersalność opisanego tu programu pozwala na przeprowadzenie obliczeń nie tylko w zakresie omówionym w niniejszej pracy, lecz również innych, jak np.:



Rys. 6. Średnia względna wydajność cieplna całego modelowanego odcinka ( $\varphi$ ) oraz ostatniego grzejnika ( $\varphi_n$ ) przy zmianie natężenia przepływu wody ( $t_{zew} = -20$ )

- określenie skutków tzw. optymalnej regulacji jakościowoilościowej,
- określenie skuteczności indywidualnej regulacji grzejnika i jej wpływu na cały układ,
- określenie stosunku łącznej powierzchni grzejników ogrzewania jednorurowego o danych parametrach względem powierzchni grzejników równowaznego ogrzewania dwururowego (dla analiz ekonomicznych),
- weryfikacja stosowanych wykresów regulacji jakościowej.

Dalsze prace w tym kierunku powinny również uwzględniać niestabilny przepływ ciepła, zwłaszcza z uwagi na perspektywę stosowania termostatycznych zaworów przygrzejnikowych.

#### LITERATURA

- [1] Kwiatkowski J.: Ogrzewanie jednorurowe w układzie poziomym w obiektach budownictwa ogólnego. Informator Projektanta Budownictwa Ogólnego - Instalacje Sanitarne, nr 10 - 11, 1971.
- [2] Mielnicki J.: Centralne ogrzewanie - regulacja i eksploatacja. Arkady, Warszawa 1974.
- [3] Kwiatkowski J.; Cholewa L.: Centralne ogrzewanie - pomoce projektanta. Arkady, Warszawa 1980.
- [4] Kołodziejczyk W.: Ogrzewanie jednorurowe z zaworami dwudrogowym. Arkady, Warszawa 1980.

#### ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОТРУБНОГО ОТАПЛИВАНИЯ

#### Резюме

В работе оговорена возможность исследования избранных вопросов работы однострунных отопляемых устройств при помощи их математической модели. Даны условия и алгоритм модели а также примерные результаты некоторых расчётов. Исследования носят сравнительный характер и могут быть указателем для рационального проектирования однострунных отоплений.

THE USE OF MATHEMATICAL MODEL FOR TESTING OF STATIC CHARACTERISTICS OF  
ONETUBE HEATING

S u m m e r y

Possibility of testing of chosen problems of the work of onetube heating using mathematical model. Is described. Assumptions and algorithm of the model and some results of computations are presented. Investigations may be used to design onetube heating systems.