

Paweł RYLIK

WPLYW WYŁĄCZENIA GRZEJNIKA

NA PRACĘ OGRZEWANIA JEDNORUROWEGO Z BOCZNICAMI

Streszczenie. W pracy przeanalizowano zakłócenia pracy ogrzewania jednorurowego pompowego z bocznicami spowodowane wyłączeniem jednego lub kilku grzejników. Szczegółowo omówiono przypadek powodujący najbardziej niekorzystne warunki pracy pozostałych grzejników. Wyprowadzono wzór opisujący zmianę przepływu wody przez instalację wskutek wyłączenia grzejnika. Podano metodę określania odchyłki temperatury w pomieszczeniu, w którym grzejnik ma najbardziej niekorzystne warunki zasilania.

1. Zakres analizy

Podstawowymi metodami uzyskania właściwego rozdziału wody między grzejnik a bocznicę w ogrzewaniach jednorurowych są:

- a) umieszczenie na bocznicę kryzy dławiącej, a zaworu jednodrogowego na gałązce grzejnika (system KT);
- b) umieszczenie trójdrogowego zaworu rozdzielającego na przewodzie głównym (pionie, poziomie) w miejscu przyłączenia gałązki grzejnikowej;
- c) zastosowanie specjalnej konstrukcji armatury czterodrogowej (Tour Agenturer - zawory RVE, Honeywell - złączki RK, armatura czechosłowacka serii RD).

Niniejsza analiza dotyczy tylko ogrzewań pompowych zrealizowanych wg systemów a) lub c). Mają one tę cechę wspólną, iż oporność obiegu przez bocznicę jest w nich niezmienna, tj. nie zależy od nastawy zaworu grzejnikowego. Oznacza to wzrost oporności układu w wypadku wyłączenia grzejnika, bowiem, zamiast równolegle połączonych oporności grzejnik - bocznicą, wystąpi w danym miejscu tylko oporność bocznicy.

Warto zauważyć, iż obecnie można w kraju instalować ogrzewania jednorurowe wyłącznie wg systemu a), natomiast przyszłościowe jest niewątpliwie rozwiązanie c), obecnie rozpowszechnione w krajach wysoko uprzemysłowionych.

2. Opis zakłócenia pracy ogrzewania jednorurowego wskutek wyłączenia grzejnika [1]

Jak już wspomniano, wyłączenie grzejnika w systemie o nieziennej oporności boczniczy oznacza wzrost oporności układu, a więc zmniejszenie przepływu wody. Dla grzejników położonych przed wyłączonym zachodzi wyłącznie ujemny wpływ zmniejszonej ilości wody. Wpływ ten rośnie dla kolejnych grzejników i jest maksymalny dla grzejnika bezpośrednio poprzedzającego wyłączony (w kierunku zgodnym z kierunkiem przepływu wody).

Dla grzejników położonych za wyłączonym również zachodzi opisane wyżej zjawisko, ale wpływ ten jest pomniejszony, gdyż nieoddawanie ciepła przez wyłączony grzejnik oznacza względne podwyższenie temperatury zasilania grzejników następnych. W szczególności jest więc możliwe, iż wydajność grzejnika położonego bezpośrednio za wyłączonym wzrośnie.

Jak wynika z powyższego krótkiego opisu, dokładne określenie wpływu wyłączenia grzejnika na pracę pozostałych wymaga określenia, który grzejnik podlega odłączeniu oraz użyczenia jego wydajności znamionowej.

Ponieważ przedmiotem niniejszej pracy jest opis przypadku najbardziej niekorzystnego (w sensie najbardziej niekorzystnego umiejscowienia i wydajności grzejnika wyłączonego), zostaną poczynione pewne założenia upraszczające.

Dla dowolnego położenia grzejnika wyłączonego wpływ jego jest tym większy (na obniżenie wydajności cieplnej pozostałych), im mniejsza jest jego wydajność znamionowa. Zatem przyjęcie znamionowej wydajności grzejnika wyłączonego równej 0 pozwala uniezależnić się od wpływu tej wielkości, przy jednoczesnym zmaksymalizowaniu odchyłek wydajności cieplnej. Przypadek ten odpowiada w przybliżeniu wyłączeniu grzejnika ostatniego. W obu wypadkach największy spadek wydajności cieplnej wystąpi dla ostatniego czynnego grzejnika (czyli ostatniego lub przedostatniego w układzie).

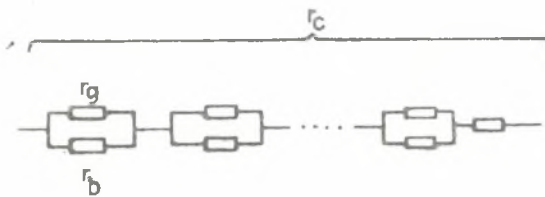
Przy założeniu takiej interpretacji tematu można go podzielić na dwa odrębne zagadnienia, które zostaną teraz przeanalizowane w sensie ilościowym.

3. Zmiana ilości wody płynącej przez układ po wyłączeniu jednego lub kilku grzejników

Rozważmy zastępczy układ hydrauliczny jednego pionu lub poziomego ogrzewania jednorurowego z bocznicami (rys. 1), zakładając jednostronne przyłączenie grzejników.

Oporność równolegle połączonych obiegów przez grzejnik i bocznicę wynosi:

$$r_1 = \frac{\Delta P}{G^2} = \frac{r (\beta G)^2}{G^2} = \beta^2 r_g \quad (1)$$



Rys. 1. Zastępczy układ hydrauliczny ogrzewania jednorurowego z bocznicami

gdzie:

r_g - oporność obiegu przez grzejnik,
 G - strumień wody płynącej przez układ.

Rozpatrywać będziemy wyłączenie n grzejników poprzez zwiększenie r_g do ∞ . Oporność obiegu przez bocznicę zapewniającego właściwe β wynosi:

$$r_b = r_g \left(\frac{\beta}{1-\beta} \right)^2 \quad (2)$$

Różnica między opornością całego układu przed wyłączeniem grzejników (r_c) a opornością po ich wyłączeniu (r'_c) wyniesie:

$$r'_c - r_c = nr_g \beta^2 \left[\frac{1}{(1-\beta)^2} - 1 \right] \quad (3)$$

Do dalszych rozważań można założyć stałą wartość ciśnienia dyspozycyjnego dla układu (pienu, poziomu). Zwykle bowiem występuje kilka takich układów połączonych równolegle (czyli w strukturę dwururową), co w przypadku nawet dość znacznej zmiany oporności jednego z układów daje niewielką zmianę oporności wypadkowej całej instalacji, a w konsekwencji niemal niezmienny punkt pracy źródła ciśnienia dyspozycyjnego.

Można więc napisać:

$$r_o G^2 = r'_o G'^2 \quad (4)$$

Definiując $\Psi = \frac{G'}{G}$, dostajemy

$$\Psi^2 = \frac{r'_o}{r_o} \quad (5)$$

$$r'_o - r_o = r_o \left(\frac{1}{\Psi^2} - 1 \right) \quad (6)$$

Porównując (6) z (3), uzyskamy po przekształceniach

$$\frac{r_c}{r_g} \left(\frac{1}{\Psi^2} - 1 \right) = \beta^2 \left[\frac{1}{(1-\beta)^2} - 1 \right] n \quad (7)$$

Powyższy wzór opisuje zmniejszenie ilości wody płynącej przez układ jednorurowy wskutek wyłączenia n grzejników, których znamionowy współczynnik rozpiływu wynosił β . Wyprowadzono go przy założeniu jednostronnego przyłączenia grzejników. Dla przyłączenia dwustronnego odpowiada to wyłączeniu obu grzejników na danej kondygnacji - po wyłączeniu tylko jednego rozregulowanie byłoby mniejsze. Zamiast stosunku oporności można wprowadzić łatwiejszy do stosowania w praktyce stosunek spadku ciśnienia w całym układzie nierozregulowanym (Δp_c) i spadku ciśnienia na jednym nierozregulowanym grzejniku, którego wyłączenie jest rozpatrywane (Δp_g). Należy tu zwrócić uwagę na jedną z możliwych koncepcji projektowania ogrzewań jednorurowych, która zakłada niejednakowe β poszczególnych grzejników układu, a to w celu:

- uzyskania jednakowych spadków temperatury wody w grzejnikach (metoda stałego Δt);
- zmniejszenia dysproporcji pomiędzy średnimi temperaturami powierzchni poszczególnych grzejników (im dalszy grzejnik, tym większe β).

W każdym przypadku krytycznymi grzejnikami (tj. takimi, których wyłączenie spowoduje największe spadki wydajności pozostałych) będą grzejniki o największym β . W przypadku metody stałego Δt są to grzejniki o najmniejszej wydajności cieplnej (zmniejsza się więc błąd wynikający z przyjęcia w pkt. 2 ich wydajności cieplnej równej zero).

W przypadku metody zbliżonych średnich temperatur krytyczne są grzejniki ostatnie, co również odpowiada założeniom pkt. 2.

Dfiniując

$$h = \frac{\Delta p_c}{\Delta p_g} = \frac{r_c G^2}{\beta^2 r_g G^2} = \frac{1}{\beta^2} \frac{r_c}{r_g} \quad (8)$$

możemy przedstawić (7) w postaci

$$\frac{h}{n} \left(\frac{1}{\Psi^2} - 1 \right) = \frac{1}{(1 - \beta)^2} - 1 \quad (9)$$

którą można rozwiązać ze względu na Ψ

$$\Psi = \left\{ 1 + \frac{n}{h} \left[\frac{1}{(1 - \beta)^2} - 1 \right] \right\}^{-\frac{1}{2}} \quad (10)$$

bądź też ze względu na $\frac{h}{n}$

$$\frac{h}{n} = \frac{\frac{1}{(1 - \beta)^2} - 1}{\frac{1}{\Psi^2} - 1} \quad (11)$$

Pozostaje teraz określenie wpływu zmniejszenia ilości wody na ilość ciepła oddawanego przez grzejniki w ogrzewaniu jednorurowym.

4. Wpływ zmiany ilości wody na odchyłki strumienia ciepła oddawanego przez grzejniki systemu jednorurowego [2], [3]

Zagadnienie to opisane zostało w pracy [2], gdzie wyprowadzono wzory na odchyłki ciepła oddawanego przez poszczególne grzejniki. Wzory te są rekurencyjne, tzn. aby policzyć odchyłkę dla i -tego grzejnika, należy najpierw policzyć je kolejno dla grzejników $1, 2, \dots, i-1$. Wzory wyprowadzono przy założeniu niezmienności współczynnika oddawania ciepła przez grzejnik, a także przy założeniu stanu ustalonego i zupełnym pominięciu akumulacyjności ogrzewanych pomieszczeń.

Poniżej opisana zostanie pokrótce metoda uwzględniająca zmienność współczynnika "k" grzejnika zarówno z temperaturą, jak i ze strumieniem wody płynącej przez grzejnik. Uwzględniona jest tu również akumulacyjność ogrzewanych pomieszczeń [3].

Oznaczmy:

$$\varphi = \frac{Q'}{Q}$$

gdzie:

- Q' - zmieniona wydajność cieplna,
- Q - znamionowa wydajność cieplna;

$$\Delta t_w = t'_w - t_w$$

gdzie:

- t'_w - zmieniona temperatura wewnętrzna,
- t_w - znamionowa temperatura wewnętrzna.

Współczynnik oddawania ciepła przez grzejnik:

$$K = C(t_{sr} - t_w)^m G^n \quad (12)$$

Współczynnik bezwładności cieplnej pomieszczenia:

$$W = \frac{A_Q}{A_t} (t_w - t_{zew}) \quad (13)$$

gdzie:

- A_Q - amplituda strumienia ciepła oddawanego przez grzejnik,
- A_t - amplituda temperatury wewnętrznej pomieszczenia.

Wzór (13) można wyrazić inaczej:

$$\delta t_w = \frac{\varphi - 1}{W} (t_w - t_{zew}) \quad (14)$$

Bilans cieplny grzejnika dla warunków znamionowych:

$$Q = kF(\vartheta - \frac{\Delta t}{2}) = G_g \Delta t \quad (15)$$

gdzie:

$$\vartheta = t_z - t_w,$$

t_z - temperatura zasilania grzejnika,

G_g - strumień wody płynącej przez grzejnik,

Δt - spadek temperatury wody w grzejniku.

Dla warunków zmienionych ($t'_w = t_w + \delta t_w$):

$$Q' = k' F (\vartheta' - \frac{\Delta t'}{2} - \delta t_w) = G'_g \Delta t' \quad (16)$$

Uwzględniając (12), (14), (15), (16), można określić φ jako

$$\varphi = \left[\frac{\vartheta' - \frac{\varphi}{\varphi} \frac{\Delta t}{2} - (\varphi - 1) \frac{t_w - t_{zew}}{W}}{\vartheta' - \frac{\Delta t}{2}} \right]^{1+m} \Psi^n \quad (17)$$

bądź też po przekształceniu i oznaczeniu $T = \frac{t_w - t_{zew}}{W}$

$$\Psi^{-\frac{n}{1+m}} (\vartheta' - \frac{\Delta t}{2})^{\frac{1}{1+m}} + (\frac{\Delta t}{2\beta\varphi} + T) \varphi - T - \vartheta' = 0 \quad (18)$$

Jest to równanie ogólne. Dla przypadku ogrzewania jednorurowego ma ono postać następującą (dla dowolnie umiejscowionego grzejnika, przy ilości grzejników w układzie równej 1):

$$\Psi^{-\frac{n}{1+m}} (\vartheta' - \Delta t_p - \frac{\Delta t}{2\beta i}) \varphi^{\frac{1}{1+m}} + (\frac{\Delta t}{2\beta\varphi} + T) \varphi - T - (\vartheta' - \Delta t_p) \frac{\varphi_p}{\varphi} = 0 \quad (19)$$

Wielkości z indeksem "p" oznaczają tu spadek temperatury bądź względną wydajność cieplną wszystkich grzejników poprzedzających rozpatrywany. Wielkości Δt , β oraz φ dotyczą grzejnika rozpatrywanego.

Proponowana metodyka określania wpływu zmienionej ilości wody na wydajność dowolnie położonego grzejnika opiera się na potraktowaniu wszystkich

grzejników poprzedzających rozpatrywany jako jednego grzejnika o spadku temperatury wody Δt_p .

Należy najpierw określić zmienioną wydajność tego fikcyjnego grzejnika. Przy znanych wartościach Ψ , β , $\Delta t_i = \Delta t_p$, a także T , m , n rozwiązujemy równanie (18) ze względu na φ .

Dla uproszczenia można przyjąć $\Psi \exp(-\frac{n}{1+m}) = 1$.

Otrzymana wartość $\varphi = \varphi_p$ w równaniu (19), które rozwiązujemy dla rozpatrywanego grzejnika ze względu na φ . Jest to poszukiwana względna wydajność cieplna, na podstawie której można obliczyć odchyłkę temperatury w pomieszczeniu według wzoru (14).

Przyjmując $n = 0$, $m = 0$ uzyskać można uproszczenie metody ($k = \text{idem}$), a zakładając $W = 1$ - pominięcie akumulacyjności cieplnej pomieszczeń.

5. Dopuszczalny spadek natężenia przepływu wody przez instalację jednorurową

Wpływ zmniejszonego natężenia przepływu wody przez układ jednorurowy jest maksymalny dla ostatniego czynnego grzejnika. Zgodnie z ustaleniami pkt. 2 przyjmijmy znamionową wydajność grzejnika wyłączonego równą 0; nieistotne jest wówczas położenie tego grzejnika w układzie.

Można odwrócić zagadnienie opisane w pkt. 4 i poszukiwać takiego dopuszczalnego spadku natężenia przepływu wody (wyrażonego w postaci względnej przez Ψ), dla którego temperatura w pomieszczeniu ostatnim osiągnie pewną minimalną graniczną wartość.

Istotne założenie dotyczy temperatury zewnętrznej. Wiadomo, iż temperatury zewnętrzne bliskie obliczeniowym zdarzają się bardzo rzadko. Aby uzyskane wyniki były możliwie zbliżone do spodziewanych w rzeczywistości, przyjęto analizę rozregulowania instalacji jednorurowej zaprojektowanej dla $t_{zew} = -20^{\circ}\text{C}$, lecz podczas $t_{zew} = -10^{\circ}\text{C}$.

Poniżej przedstawione zostaną przykładowe wyniki obliczeń wg metody uprzednio opisanej. Dla instalacji o parametrach zasilania $95/70^{\circ}\text{C}$ przy -20°C (analizowanej dla $80/60^{\circ}\text{C}$ przy -10°C , zgodnie z wykresem regulacji jakościowej) i znamionowej temperaturze pomieszczeń $+20^{\circ}\text{C}$ poszukiwano wartości Ψ , dla których temperatura w ostatnim pomieszczeniu obniży się do $+19^{\circ}\text{C}$ lub $+18^{\circ}\text{C}$. Obliczenia przeprowadzono dla trzech różnych wartości β grzejnika ostatniego oraz dla ilości grzejników w pionie (poziomie) równej 6 i 11. Ponieważ wpływ ilości grzejników okazał się niewielki (dla większych ilości grzejników wartości Ψ są nieco większe), przedstawione zostaną maksymalne wartości Ψ .

Przyjęto $n = 0,04$; $m = 0,33$; $W = 2$.

Z przedstawionych obliczeń wynika, iż instalacje jednorurowe o wyższych wartościach β są nieco mniej wrażliwe na zmiany przepływu. Jednocześnie wyłączenie grzejnika w tych instalacjach powoduje większe zakłócenia w przepływie wody.

Tablica 1

Dopuszczalne wartości Ψ dla instalacji 95/70° przy $t_z = -10^\circ\text{C}$

β	0,3	0,5	0,7	
Ψ	0,875	0,85	0,83	$\delta t_w = -1 \text{ deg}$
	0,76	0,74	0,73	$\delta t_w = -2 \text{ deg}$

6. Zestawienie wyników

Zestawiając wyniki obliczeń cieplnych z tablicy 1 z wynikami obliczeń hydraulicznych reprezentowanymi wzorem (11), pamiętać należy, iż we wzorach wyprowadzonych w punkcie 3 współczynnik β dotyczy grzejnika (lub kilku), który ma być wyłączony, natomiast we wzorach punktu 4 i tablicy 2 dotyczy ostatniego czynnego grzejnika.

Należy więc znać metodę projektowania ogrzewania jednorurowego stałego Δt , zbliżonych t_{sr} bądź też stałego β i odpowiednio przyjąć obie wartości β . Dla metody stałego β wyniki końcowe można już teraz przedstawić, zakładając ponadto ilość wyłączonych grzejników $n = 1$ i wstawiając odpowiednie wartości Ψ z tablicy 1 do wzoru (11).

Tablica 2

Przykładowa zależność między β i h
zapewniająca przy wyłączeniu dowolnego grzejnika
nieprzekroczenie $\delta t_w = -1 \text{ deg}$ (95/70°)

β	0,3	0,5	0,7
h	3,4	7,8	22,5

7. Wnioski

Z przedstawionych rozważań teoretycznych wynikają zależności między β , h i Ψ oraz β , Ψ i δt_w zapewniające wymaganą stateczność cieplną ogrzewania jednorurowego po wyłączeniu grzejnika. Wyniki końcowe, tj. zależność pomiędzy β i h dla danego δt_w , można traktować jako punkt wyjścia do analizy ekonomicznej. Wiadomo bowiem, iż w ogrzewaniach jednorurowych wraz z wzrostem β maleje łączna powierzchnia grzejników, jednocześnie zaś rośnie opór hydrauliczny układu. O ile chcemy, aby przy wyłączeniu grzejnika nie nastąpiło zbyt duże rozregulowanie instalacji, musi on rosnąć np. zgodnie z tablicą 2, co może oznaczać wprowadzenie dodatkowego oporu do układu.

Z drugiej strony, można traktować $h = \frac{\Delta p_c}{\Delta p_g}$ jako wynik typowych obliczeń hydraulicznych bez dodatkowego zwiększania oporu instalacji, zaś współczynnik rozplywu dobierać odpowiednio niski, aby była spełniona zależność (9).

Kwestię poszczególnych założeń do obliczeń (temperatura zewnętrzna, dopuszczalna odchyłka temperatury wewnętrznej, ilość wyłączonych grzejników, akumulacyjność pomieszczeń) należy uważać za otwartą, zaś przedstawione wyniki za przykładowe, aczkolwiek typowe.

Celem niniejszej pracy miało być zaproponowanie kompleksowej metody obliczeń, uwzględniającej możliwie wszystkie czynniki, przy jednoczesnym ograniczaniu się do przypadku najbardziej niekorzystnego.

LITERATURA

- [1] Krüger H.: Beeinflussung der Heizkörperwärmeabgabe durch abgeschaltete Heizkörper bei Einrohrheizanlagen. Ges.-Ing. nr 1, 1961.
- [2] Kwiatkowski J.: Wpływ zmiany ilości i temperatury wody na wydajność grzejników w ogrzewaniu jednorurowym. GWTS, nr 5, 1966.
- [3] Iszczenko: Pieriemennyj rezim raboty odnotrubnyh sistem wodjanogo otopenija. Izv. MUZ., Stroj. i Arch. nr 11, 1966.
- [4] Kołodziejczyk W.: Wpływ regulacji ilościowej sieci ciepłej na pracę ogrzewań jednorurowych. GWTS, nr 7, 1968.

ВЛИЯНИЕ ВЫКЛЮЧЕНИЯ КАЛОРИФЕРА НА РАБОТУ ОДНОТРУБНОГО ОТОПЛЕНИЯ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

Резюме

В работе проведен анализ помех функционирования однетрубного насосного отопления с ответвлениями, вызванных выключением одного или нескольких калориферов. Всесторонне обсужден случай, являющийся причиной наиболее неблагоприятных условий работы остальных калориферов. Выведена формула, описывающая изменение течения воды через установку в результате выключения калорифера. Указан метод определения разбега температуры в помещении, в котором у калорифера наиболее неблагоприятные условия водоснабжения.

THE INFLUENCE OF HEATER SWITCHOUT ON THE PERFORMANCE
OF ONE-PIPE HEATING WITH SIDINGS

S u m m a r y

The paper analyses the disturbances of performance of one-pipe heating with sidings caused by switching out one or more heaters. The case in which the performance of all other heaters was unsatisfactory has been discussed in detail. The formula describing the change in water flow through the system effected by the heater switchout has been introduced. The method of defining temperature deviations in a room in which the heater's supply was most inconvenient has been presented.