

Konrad ADAMOWICZ
Instytut Techniki Ciepłej, Łódź

ANALIZA UKŁADÓW ZAWÓR – DYSZA WTRYSKOWA W SCHŁADZACZACH MIĘDZYSTOPNIOWYCH KOTŁA OP-650

Streszczenie. Omówiono zagadnienia doboru zespołów zawór – dysza wtryskowa do międzystopniowych schładzaczy pary przegrzanej w kotłach energetycznych. Przedstawiono pomiary bilansowe kotła OP-650 i podano wybrane ich wyniki. Opisano metodykę doboru zaworów i dysz oraz sposób wyznaczania wartości współczynników przepływu tych elementów dla wymienionego kotła.

ANALYSIS OF VALVE – INJECTION NOZZLE UNITS FOR INTERSTAGE ATTEMPERATORS IN BOILERS OP-650

Summary. The paper refers to problems of selecting valve-injection nozzle units for interstage attemperators of superheated steam in power boilers. Balance measurements of the OP-650 boiler have been discussed and their selected results have been given. Method of selecting valves and nozzles has been presented and the values of blow coefficient determined for these components in the OP-650 boiler have been given.

АНАЛИЗ СИСТЕМОВ КЛАПАН-ВПРЫСКИВАЮЩЕЕ СОПЛО ДЛЯ МЕЖСТУПЕНЧАТЫХ ПАРООХЛАДИТЕЛЕЙ КОТЛА ОП-650

Резюме. Обслужены проблемы подбора групп клапан-впрыскивающее сопло для межступенчатых парохладителей в энергетических котлах. Представлены балансные измерения котла ОП-650 и некоторые их результаты. Описана методика подбора клапанов и сопел а также способ определения коэффициентов протекания этих элементов для вышеназванного котла.

1. WSTĘP

Regulowanie temperatury pary świeżej i wtórnej w kotłach OP-650, pracujących w energetyce zawodowej, odbywa się przez wtryskiwanie do pary rozpylonej wody. W międzystopniowych schładzaczach pary świeżej do tego celu służą dysze z rozpyleniem parowym, tzw. dwuczynnikowe, a w schładzaczach pary wtórnej ciśnieniowe dysze wirowe. Natężenie przepływu wody, podawanej do dysz, regulowane jest zaworami, stanowiącymi człony nadawcze w układzie automatycznej regulacji temperatury pary. Prawidłowy dobór zaworu i dyszy zapewnia poprawną pracę układu regulacji i umożliwia uzyskanie wymaganej wartości temperatury.

Na zlecenie jednej z krajowych elektrowni Instytut Techniki Ciepłej w Łodzi przeprowadził pomiary sprawdzające i wykonał analizę doboru zespołów wtryskowych w międzystopniowych schładzaczach pary kotła OP-650.

2. DANE TECHNICZNE ZESPOŁÓW WTRYSKOWYCH BĘDĄCYCH PRZEDMIOTEM ANALIZY

Dane techniczne dysz, zainstalowanych w międzystopniowych schładzaczach pary i współpracujących z nimi zaworów, zestawiono w tablicach 1 i 2.

Tablica 1
Dane techniczne zaworów i dysz w schładzaczach pary świeżej

	Schładzacz I stopnia	Schładzacz II stopnia
Zawór wtryskowy		
Typ	20000	
DN, mm	50	
PN, MPa	25	
K_{VZ} , m ³ /h	21,5	10,3
H, mm	25,4	
Charakterystyka stałoprocentowa		
Dysza		
Typ	Z rozpyleniem parowym	
K_{VD} , m ³ /h	16,8	7,9
Współczynnik przepływu zespołu zawór-dysza		
K_{VZD} , m ³ /h	13,24	6,27

Tablica 2

Dane techniczne zaworów i dysz w schładzaczach pary wtórnie przegrzanej

	Schładzacz I stopnia	Schładzacz II stopnia
Zawór wtryskowy		
Typ	20000	
DN, mm	50	
PN, MPa	16	
K_{VZ} , m ³ /h	10,3	4,5
H, mm	25,4	
Charakterystyka stałoprocentowa		
Dysza		
Typ	Ciśnieniowa wirowa	
K_{VD} , m ³ /h	1,6	2,5
Współczynnik przepływu zespołu zawór–dysza		
K_{VZD} , m ³ /h	1,58	2,18

3. POMIARY SPRAWDZAJĄCE

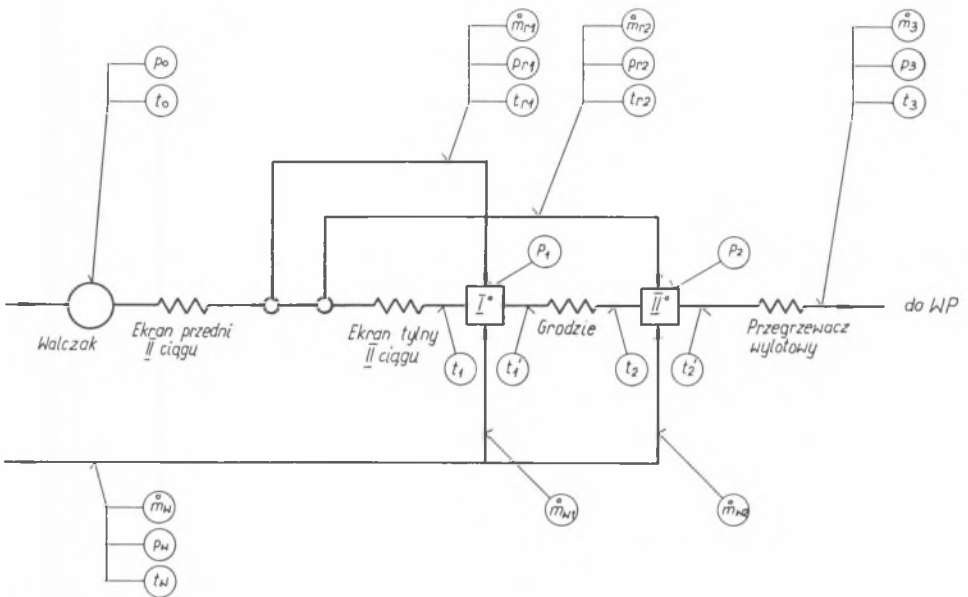
Pomierzono parametry pary i wody przy obciążeniach bloku wynoszących 140, 150, 160, 180 i 195 MW, przy stabilizacji termicznej kotła. Wykorzystano do tego celu istniejący w elektrowni system komputerowy, rejestrując wartości wielkości mierzonych w 10 minutowych okresach pomiarowych.

Dokonano rejestracji następujących wielkości:

- moc bloku 1 pkt pomiarowy,
- temperatury 24 pkt. pomiarowe,
- ciśnienia 9 pkt. pomiarowych,
- przepływu 10 pkt. pomiarowych,
- stopień otwarcia zaworów 8 pkt. pomiarowych.

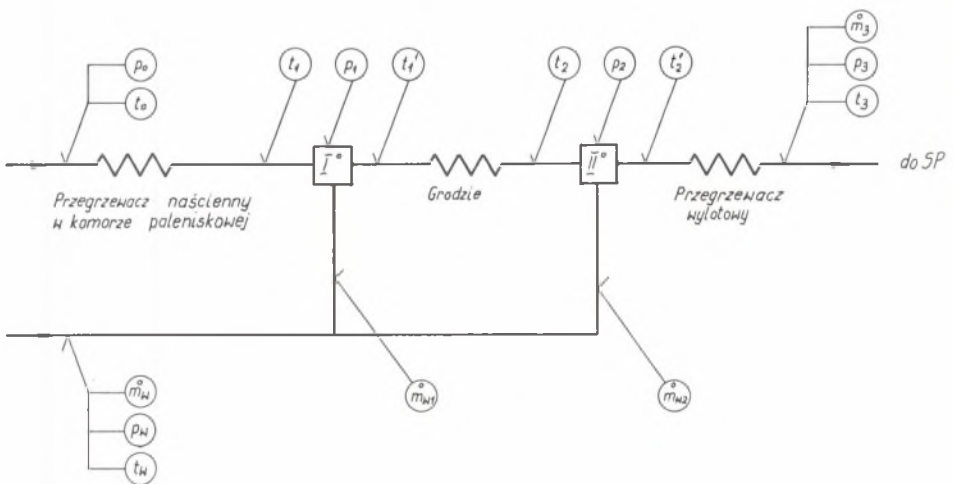
Schematy rozpyłów pary i wody z oznaczeniem punktów pomiarowych podano na rys. 1 i 2.

W celu zweryfikowania wyników pomiarów dla średnich wartości wielkości mierzonych wykonano obliczenia bilansowe schładzaczy. Pozwoliło to dodatkowo wyznaczyć brakujące dane, np. strumienie masy pary rozpylającej do dysz dwuczynnikowych. Uzyskane wyniki zilustrowano wykresami, z których część przedstawiono na rys. 3–7.



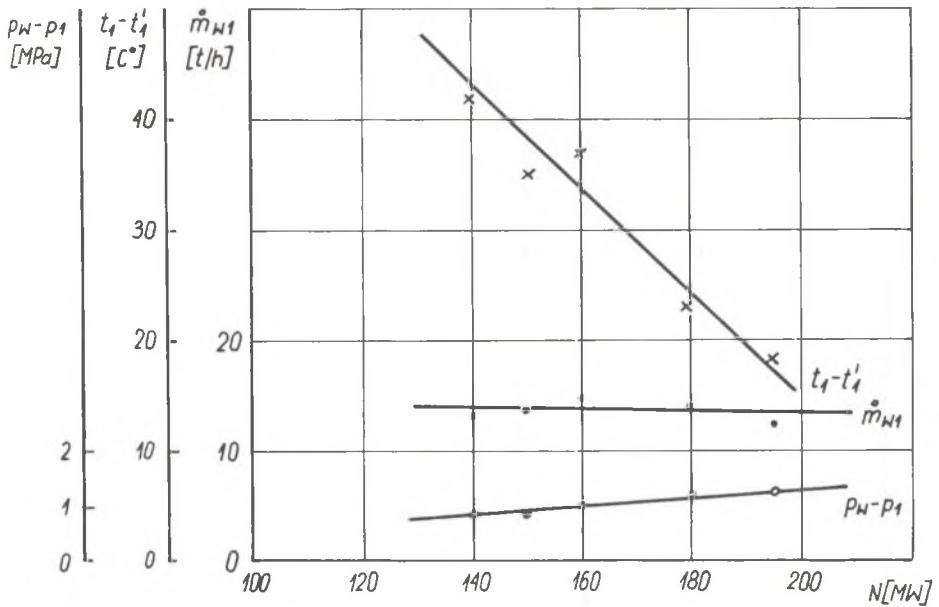
Rys. 1. Schemat rozpliwów pary i wody wtryskowej do pary świeżej, z oznaczeniem punktów pomiarowych

Fig. 1. Schematic diagram of steam and water injection into live steam and designation of measuring points



Rys. 2. Schemat rozpliwów pary i wody wtryskowej do pary wtórnie przegrzanej, z oznaczeniem punktów pomiarowych

Fig. 1. Schematic diagram of steam and water injection into re-superheated steam and designation of measuring points



Rys. 3. Parametry pary i wody w obrębie schładzacza I stopnia pary świeżej. Temperatura wtryskiwanej wody $t_w = 230^\circ\text{C}$

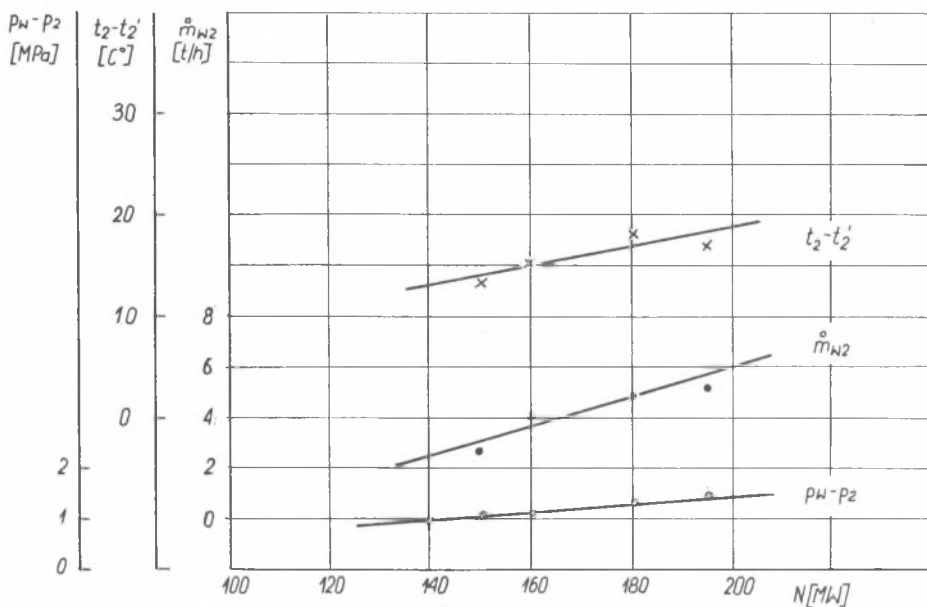
Fig. 3. Parameters of steam and water within first stage attemperator of live steam. Temperature of injected water $t_w = 230^\circ\text{C}$

4. ANALIZA PRAWIDŁOWOŚCI DOBORU ZESPOŁU ZAWÓR-DYSZA

Przepustowość zaworów regulacyjnych określana jest wartością współczynnika przepływu K_{VZ} , odpowiadającego strumieniowi objętości w m^3/h czynnika o gęstości ok. $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$, przepływającego przez otwarty zawór przy ciśnieniu przed i za zaworem różniącym się o ok. 1 MPa (1 at). Tak samo definiuje się współczynnik przepływu K_{VD} ciśnieniowych dysz wirowych. W przypadku dysz dwuczynnikowych na natężenie przepływu wody ma również wpływ para rozpylająca, działająca w kierunku zmniejszenia strumienia objętości wody. W rozważaniach ogólnych zjawisko to można pominąć.

Sumaryczny współczynnik przepływu zawór – dysza określa zależność:

$$K_{VZD} = \frac{K_{VZ} K_{VD}}{\sqrt{K_{VZ}^2 + K_{VD}^2}} \quad (1)$$



Rys. 4. Parametry pary i wody w obrębie schładzacza II stopnia pary świeżej. Temperatura wtryskiwanej wody $t_w = 230^\circ\text{C}$

Fig. 4. Parameters of steam and water within second stage attemperator of live steam. Temperature of injected water $t_w = 230^\circ\text{C}$

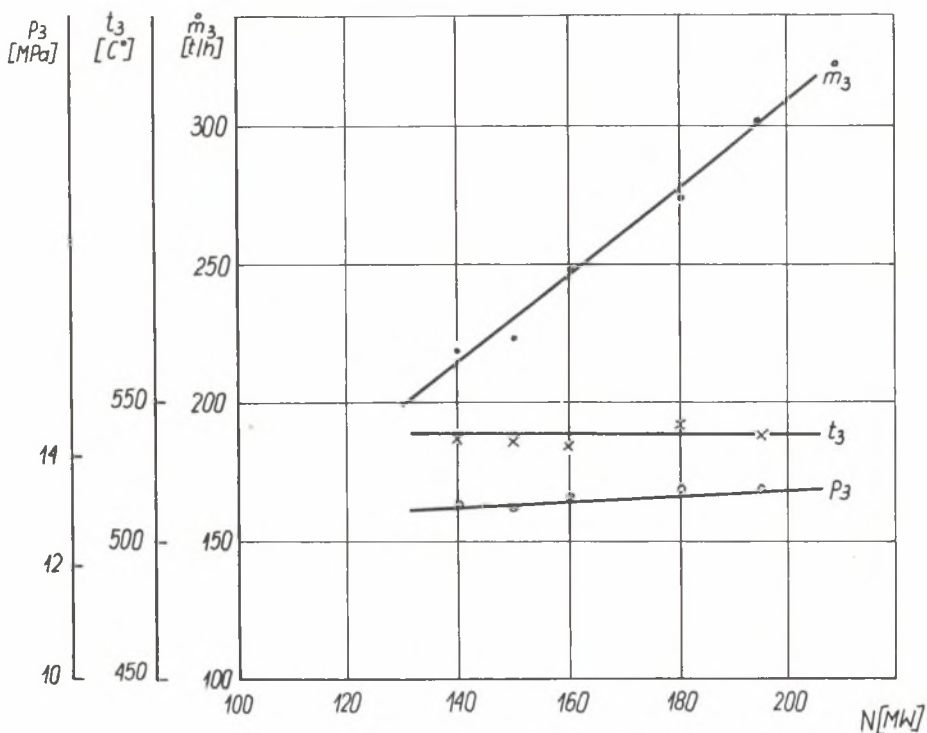
Dla dyspozycyjnego spadku ciśnienia (różnica wartości ciśnienia w miejscu poboru wody i w miejscu wtrysku) pomiędzy strumieniem masy wody \dot{m}_w i sumarycznym współczynnikiem przepływu K_{VZD} zachodzą zależności:

$$\dot{m}_w = 0,1 K_{VZD} \sqrt{\Delta p_d \rho} \quad (2)$$

$$K_{VZD} = \frac{10 \dot{m}_w}{\sqrt{\Delta p_d \rho}} \quad (3)$$

gdzie:

- \dot{m}_w – t/h
- K_{VZD} – m^3/h
- Δp_d – MPa
- ρ – kg/m^3



Rys. 5. Parametry pary świeżej na wylocie z kotła

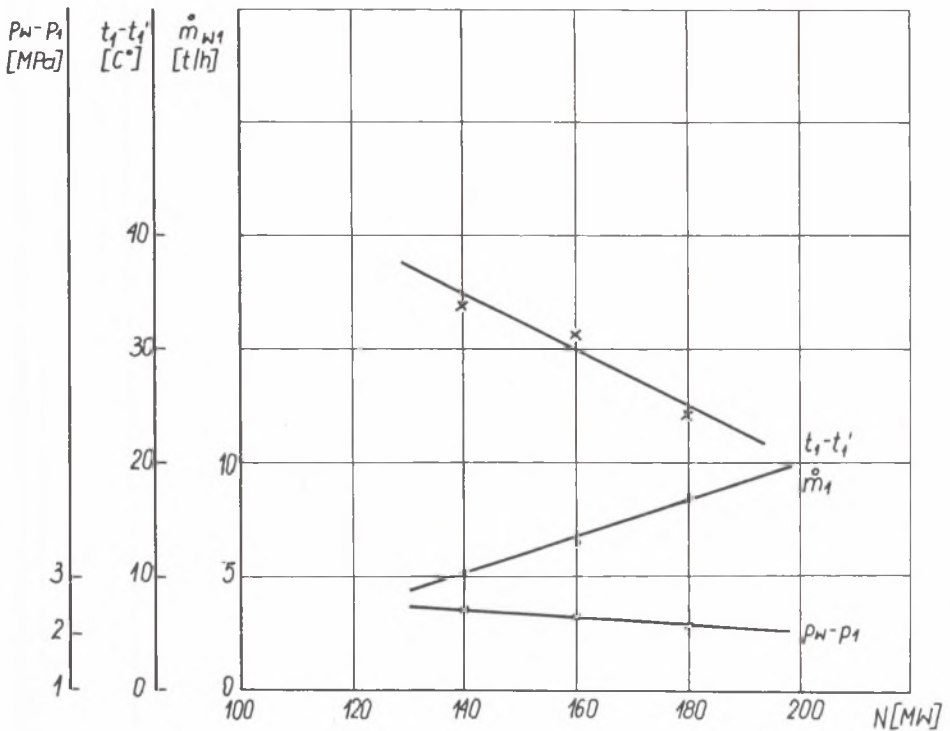
Fig. 5. Parameters of live steam at the boiler outlet

Ze wzoru (3) wynika, że znając zapotrzebowanie wody \dot{m}_w dla danego schładzacza oraz dyspozycyjny spadek ciśnienia Δp_d wyznacza się wymaganą wartość K_{VZD} . Do dalszych obliczeń przyjmuje się współczynnik przepływu zawór – dysza powiększony o 20 + 30%, co zapewnia proces regulowania temperatury pary również przy przeciążeniu kotła.

Przyjmując dyszę wtryskową o danej wartości K_{VD} , z zależności (4), uzyskanej z przekształcenia (1), wyznacza się wymaganą wartość K_{VZ} :

$$K_{VZ} = \frac{K_{VZD} K_{VD}}{\sqrt{K_{VD}^2 - K_{VZD}^2}} \quad (4)$$

Dysze należy dobrać w taki sposób, aby w przewidywanym zakresie pracy wartość różnicy ciśnienia przed dyszą i w miejscu wtrysku nie zmniejszała się poniżej granicy dobrego rozpylenia. Dla typoszeregu ciśnieniowych dysz wiro-



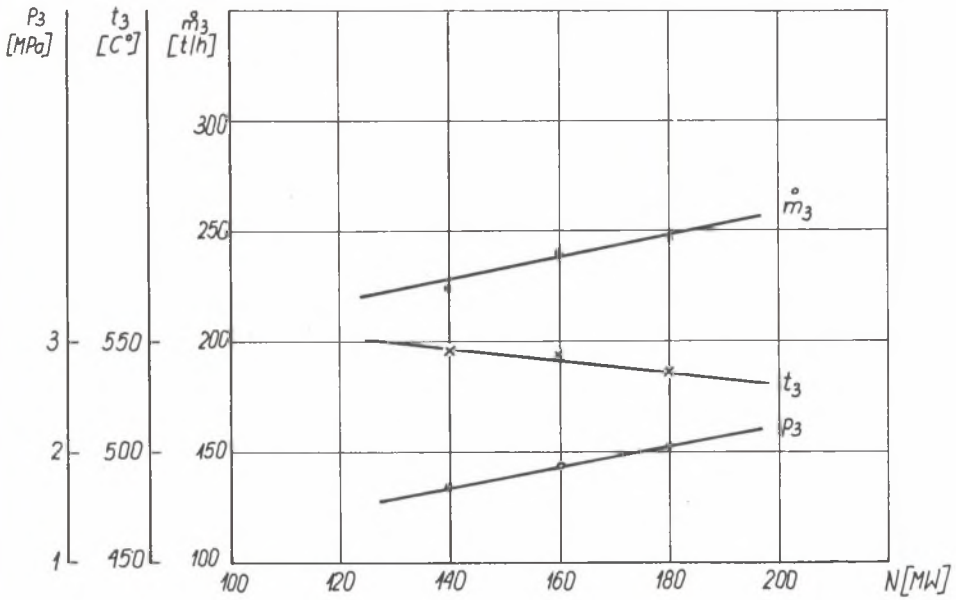
Rys. 6. Parametry pary i wody w obrębie schładzacza I stopnia pary wtórnie przegrzanej.
Temperatura wtryskiwanej wody $t_w = 160^\circ\text{C}$

Fig. 6. Parameters of steam and water within first stage attemperator of re-superheated steam. Temperature of injected water $t_w = 160^\circ\text{C}$

wych wg normy zakładowej CBKK w Tarnowskich Górach ZN-76/1314-1501, zaprojektowanych w Instytucie Techniki Ciepłej w Łodzi, granicę tę wyznaczono doświadczalnie na poziomie 0,3 MPa.

W celu zapewnienia poprawnego działania automatycznej regulacji temperatury pary przegrzanej w kotle należy dążyć do tego, aby współczynnik wzmocnienia K obwodu regulacji składającego się z wtryskowego schładzacza pary, zespołu zawór – dysza i wylotowego przegrzewacza pary zachowywał stałą wartość. Współczynnik K jest iloczynem współczynników wzmocnienia wymienionych zespołów:

$$K = K_S K_{ZD} K_p \quad (5)$$



Rys. 7. Parametry pary wtórnie przegrzanej na wylocie z kotła

Fig. 7. Parameters of re-superheated steam at the boiler outlet

gdzie:

$$K_S = \frac{i_1 - i_w}{c_p(\dot{m}_1 + \dot{m}_w)} \quad (6)$$

$$K_{ZD} = \frac{\Delta \dot{m}_w}{\Delta H} \quad (7)$$

$$K_p = \frac{\Delta t_3}{\Delta t_2} \quad (8)$$

W związku z tym, że wartość współczynnika K_S ma tendencję malejącą ze wzrostem obciążenia kotła, stosuje się zawory regulacyjne o stałoprocentowej charakterystyce przepływu, zapewniające progresywny przyrost strumienia masy wody w funkcji skoku grzyba.

5. WYNIKI OBLICZEŃ I DOBÓR ZAWORÓW

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń zaproponowano zmianę ciśnieniowych dysz wirowych w schładzaczach pary wtórnie przegrzanej, w stosunku do podanych w tablicy 2:

Schładzacz I stopnia	– dysza	$K_{VD} = 4,0 \text{ m}^3/\text{h}$
	zamiast	$K_{VD} = 1,6 \text{ m}^3/\text{h}$.
Schładzacz II stopnia	– dysza	$K_{VD} = 1,6 \text{ m}^3/\text{h}$
	zamiast	$K_{VD} = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Ostatecznie dla dysz z rozpyleniem parowym zainstalowanych w schładzaczach pary świeżej i dysz ciśnieniowych po proponowanej zmianie uzyskano następujące wyniki obliczeń:

Para świeża	I stopnia	$K_{VD} = 16,80 \text{ m}^3/\text{h}$
		$K_{VZD} = 13,43$
		$K_{VZ} = 22,35$
	II stopnia	$K_{VD} = 7,90$
		$K_{VZD} = 3,67$
		$K_{VZ} = 4,14$
Para wtórna	I stopnia	$K_{VD} = 4,0$
		$K_{VZD} = 3,55$
		$K_{VZ} = 7,70$
	II stopnia	$K_{VD} = 1,6$
		$K_{VZD} = 1,36$
		$K_{VZ} = 2,58$

Przyjmując, że elektrownia wykorzysta zawory regulacyjne produkcji krajowej, wzięto pod uwagę zawory z serii 10000 i 20000 z charakterystykami stałoprocentowymi, produkowane w Zakładach Automatyki POLNA S.A. w Przemysłu. Według materiałów katalogowych w zakresie wymaganych przepustowości i średnic nominalnych DN 32, 40 i 50 mm, do dyspozycji są następujące zawory regulacyjne:

- seria 20000 jednogniazdowe, nieodciążone $K_{VZ} = 2,9; 4,5; 10,3; 15,4; 21,5 \text{ m}^3/\text{h}$,
- seria 20000 dwugniazdowe, odciążone, z przelotem pełnym $K_{VZ} = 15,4; 24,0 \text{ m}^3/\text{h}$,
- seria 10000 dwugniazdowe, odciążone, z przelotem zredukowanym $K_{VZ} = 6,0; 9,4; 16,3 \text{ m}^3/\text{h}$.

Dla każdego z wymienionych zaworów sprawdzono, jaki opór musi pokonać współpracujący z nim siłownik.

Do obliczeń przyjęto warunki ekstremalne:

- maksymalną wartość różnicy ciśnienia przed i za zaworem stwierdzoną podczas pomiarów,

- założenie, że w zaworze występują równocześnie: siła tarcia w dławnicy (moment dojścia grzyba do gniazda), siła od różnicy wartości ciśnienia po obydwu stronach grzyba i niezbędna siła docisku grzyba do gniazda. Siłę docisku przyjęto do obliczeń, pomimo że zawory regulacyjne nie muszą zapewniać pełnej szczelności zamknięcia.

Wyliczone, wymagane wartości sił zawierają się w przedziale 800 – 4300 N. Warunek ten spełniają produkowane w kraju elektryczne siłowniki liniowe. Ostateczny wybór zaworów pozostawiono zleceniodawcy ze względu na ekonomiczny aspekt przedsięwzięcia (ceny zaworów, siłowników i koszty zmiany przyłączy w istniejących rurociągach).

6. WNIOSKI

Obecnie trwa wdrażanie omówionych rozwiązań doboru zespołów wtryskowych w schładzaczach. Do końca bieżącego roku przewiduje się wyposażenie schładzaczy pary świeżej i wtórnie przegrzanej w nowe zawory regulacyjne oraz wymianę ciśnieniowych dysz wirowych.

Po próbnym okresie eksploatacji zostaną przeprowadzone pomiary sprawdzające, pozwalające na zweryfikowanie dokonanego doboru zespołów zawór – dysza wtryskowa.

LITERATURA

- [1] Adamowicz K.: Analiza doboru układów zawór – dysza wtryskowa w schładzaczach międzystopniowych kotła OP-650. Łódź 1993. Sprawozdanie Instytutu Techniki Ciepłej (nie opublikowane).
- [2] Müller J., Müller R.: *Stelleinrichtungen für Stoffströme*. VEB Verlag, Berlin 1966.
- [3] Rakowski J.: *Automatyka ciepłych urządzeń elektrowni*. WNT, Warszawa 1976.
- [4] Stelmach J.: Dobór zaworów i dysz wtryskowych do automatycznej regulacji temperatury pary przegrzanej. *Biuletyn Instytutu Energetyki*. Nr 11/12, 1967.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ludwik CWYNAR

Wpłynęło do Redakcji 6. 08. 1994 r.

Abstract

Controlling the temperature of live and re-superheated steam in power boilers is effected by the injection of sprayed water into steam. For this, nozzles for steam spraying are used in live-steam interstage attemperators and rotational pressure nozzles in re-superheated steam attemperators. The flow rate of injected water is controlled by valves. Proper operation of the superheated steam temperature control depends on appropriate selection of the valve-nozzle unit.

The paper refers to selecting of injection units for the interstage attemperators of the OP-650 boiler.

Technical data of the installed valves and nozzles, schematic diagrams of steam and water flow, and designations of measuring points have been given.

Balance investigations of the boiler have been carried out and discussed and their selected results given. Methods of selecting valves and nozzles have been presented as well as equations from which flow coefficient values for valve (K_{VZ}), spraying nozzle (K_{VD}) and injection unit (K_{VZD}) are calculated. On the ground of measurement results, required K_{VZ} , K_{VD} values were calculated and the user of the boiler was suggested to change the previously installed fittings.