

gdzie:

0,99823 - gęstość wody destylowanej w temperaturze 20°C,
g/cm³,

0,00120 - gęstość powietrza w temperaturze 20°C przy ciśnieniu normalnym, g/cm³.

Za wynik przyjmuje się średnią arytmetyczną wyników dwóch oznaczeń, których błąd bezwzględny nie przekracza:

- 0,001 g/cm³ (1 kg/m³) dla olejów o lepkości w temperaturze 50°C nie większej niż 40cSt,

- 0,002 g/cm³ (2 kg/m³) dla olejów o lepkości w temperaturze 50°C większej od 40cSt.

W przypadku przeliczenia gęstości dla innej temperatury t_1 można skorzystać ze wzoru:

$$\rho_{t_1} = \rho_t + \gamma (t - t_1), \quad (9.3)$$

gdzie:

ρ_t - gęstość cieczy w temperaturze oznaczenia, g/cm³,

γ - cieplny współczynnik zmiany gęstości odczytany z tablicy zawartej w normie PN-66/C-04004, g/cm³/°C,

t - temperatura oznaczenia, °C.

10. BADANIA CIEPLNE KOTŁÓW GRZEWCZYCH

10.1. WIADOMOŚCI WSTĘPNE

Badania cieplne przeprowadza się w celu kontroli stanu technicznego oraz sposobu eksploatacji kotłów. Problem ten staje się coraz bardziej aktualny ze względu na wzrastającą ilość instalacji kotłowych. W wyniku badań określa się sprawność cieplną urządzenia, temperaturę oraz skład spalin wychodzących z kotła, parametry czynnika ogrzewanego i powietrza doprowadzanego do kotła oraz parametry paliwa.

Sposób przeprowadzania bilansu cieplnego kotłów oraz opracowania wyników badań podany jest w normach PN-72/M-34128 i PN/M-40060.

10.2. BILANS CIEPLNY KOTŁA

Bilans cieplny określa moc cieplną doprowadzoną do kotła oraz sposób jej wykorzystania, co można zapisać wzorem

$$\dot{Q} = \dot{Q}_D + \sum \dot{Q}_S, \quad \text{kW}, \quad (10.1)$$

Po podzieleniu obydwóch stron równania (10.1) przez \dot{Q} otrzymuje się

$$1 = \frac{\dot{Q}_D}{\dot{Q}} + \frac{\sum \dot{Q}_S}{\dot{Q}} \quad (10.2)$$

lub

$$\eta_k + \sum S = 100\%, \quad (10.3)$$

gdzie:

\dot{Q} - moc cieplna doprowadzona do kotła, kW,

\dot{Q}_D - użyteczna moc cieplna, kW,

\dot{Q}_S - straty mocy cieplnej, kW,

η_k - sprawność cieplna kotła, $\eta_k = \dot{Q}_D / \dot{Q} \cdot 100\%$,

$\sum S$ - straty cieplne, $\sum S = \sum \dot{Q}_S / \dot{Q} \cdot 100\%$.

Sprawność cieplną kotła można wyznaczyć w sposób bezpośredni lub pośredni. Sposób bezpośredni zalecany jest dla mniejszych jednostek kotłowych, sprawność oblicza się wówczas z zależności

$$\eta_k = \frac{\dot{Q}_D}{\dot{Q}} \cdot 100\%. \quad (10.4)$$

Ze wzoru (10.3) można obliczyć również sprawność kotła w sposób pośredni

$$\eta_k = 100 - \sum S\%. \quad (10.5)$$

10.3. OBLICZANIE PODSTAWOWYCH SKŁADNIKÓW BILANSU CIEPLNEGO

10.3.1. MOC CIEPLNA KOTŁA

Moc cieplną doprowadzoną do kotła oblicza się z zależności

$$\dot{Q} = \dot{Q}_B + \dot{Q}_p + \dot{Q}_{pow}, \quad \text{kW}, \quad (10.6)$$

gdzie:

- \dot{Q}_B - moc cieplna zawarta w składnikach paliwa, kW,
- \dot{Q}_p - moc cieplna zawarta w paliwie podgrzanym do temperatury wyższej od temperatury otoczenia, kW,
- \dot{Q}_{pow} - moc cieplna zawarta w podgrzewanym powietrzu dostarczonym do kotła, kW.

W mniejszych jednostkach kotłowych nie podgrzewa się wstępnie paliwa oraz powietrza i wówczas można stosować wzór uproszczony

$$\dot{Q} = \dot{Q}_B = \dot{B} Q_1^r, \quad \text{kW}, \quad (10.7)$$

gdzie:

- \dot{B} - strumień masy paliwa, kg/s,
- Q_1^r - wartość opałowa paliwa, kJ/kg.

Ilość ciepła otrzymana przy spalaniu paliwa gazowego wynosi

$$\dot{Q} = \dot{Q}_P = 0,01 \dot{B} (100 - u_{H_2O}) Q_1^r, \quad \text{kW}, \quad (10.7a)$$

gdzie:

- \dot{B} - objętość strumienia masy paliwa, um^3 wilgotnego paliwa/s,
- u_{H_2O} - udział objętościowy wilgoci w paliwie, %,
- Q_1^r - wartość opałowa paliwa, kJ/ um^3 suchego paliwa.

10.3.2. UŻYTECZNA MOC CIEPLNA

Wartość liczbowa użytecznej mocy cieplnej można określić ze wzorów:

- a) dla kotłów wodnych

$$\dot{Q}_D = \dot{m}_W c_W (t_{W2} - t_{W1}), \quad \text{kW}, \quad (10.8)$$

gdzie:

\dot{m}_W - strumień masy wody przepływającej przez kocioł, kg/s,

c_W - ciepło właściwe wody, kJ/(kg·K),

t_{W1} - temperatura wody przed kotłem, °C,

t_{W2} - temperatura wody za kotłem, °C.

b) dla kotłów parowych

$$\dot{Q}_D = \dot{D} (i_p - i_w), \quad \text{kW}, \quad (10.9)$$

gdzie:

\dot{D} - strumień masy pary przepływającej przez kocioł, kg/s,

i_p - entalpia pary, kJ/kg,

i_w - entalpia wody zasilającej kocioł, kJ/kg.

Dla kotłów z przegrzewaczem należy uwzględnić ilość ciepła pobieraną przez parę w przegrzewaczu.

10.3.3. STRATY MOCY CIEPLNEJ

W równaniach określających straty mocy cieplnej przyjęto następujące oznaczenia:

\dot{B} - strumień masy paliwa, kg/s,

(dla paliw gazowych, um³ wilgotnego paliwa/s),

\dot{B}' - strumień masy przesypu, kg/s,

Q_i^R - wartość opałowa paliwa, kJ/kg,

(dla paliw gazowych, kJ/um³ suchego paliwa),

(Q_{ip}^R) - wartość opałowa przesypu, KJ/kg,

\dot{m}_Z - strumień masy żużla i popiołu, kg/s,

\dot{m}_L - strumień masy lotnego popiołu, kg/s,

\dot{m}_U - strumień masy popiołu unoszonego do atmosfery, kg/s,

$[CO_2]$ - udział objętościowy CO₂ w spalinach suchych, %,

$[CO]$ - jw. dla CO, %,

$[O_2]$ - jw. dla O₂, %

- $[N_2]$ - jw. dla N_2 , %,
 t_o - temperatura otoczenia, $^{\circ}C$,
 t_s - temperatura spalin, $^{\circ}C$,
 t_z - temperatura żużła, $^{\circ}C$.

Pozostałe oznaczenia objaśniono w tekście.

Straty mocy cieplnej spowodowane przesypem występują jedynie w paleniskach rusztowych i są powodowane spadaniem z rusztu drobnych ziaren paliwa stałego do leja przesypowego. Wielkość tej straty określa się za pomocą wzoru

$$\dot{Q}_{ps} = \dot{B}' (Q_1^R)_p = \dot{B} \beta (Q_1^R)_p, \quad \text{kW.} \quad (10.10)$$

Względna strata przesypu wynosi

$$s_{ps} = \frac{\dot{B}' (Q_1^R)_p}{\dot{B} Q_1^R} \cdot 100 = \beta \frac{(Q_1^R)_p}{Q_1^R} \cdot 100, \%, \quad (10.11)$$

gdzie: $\beta = \frac{\dot{B}'}{\dot{B}}$ - udział masowy przesypu w doprowadzanym paliwie.

Dla paliw gazowych wartość straty przesypu jest równa zero ($\dot{B}' = 0$).

Straty mocy cieplnej niedopału (niecałkowitego spalania) występują wówczas, gdy stałe produkty spalania, tzw. odpady paleniskowe (popiół, żużel), zawierają części palne. Wielkość tej straty oblicza się za pomocą wzoru:

$$\dot{Q}_{nc} = 33830 (\dot{m}_Z C_Z + \dot{m}_L C_L + \dot{m}_U C_U) \cdot 10^{-2} \quad \text{kW.} \quad (10.12)$$

Względna strata niedopału wynosi:

$$s_{nc} = \frac{33\ 830 (\dot{m}_Z C_Z + \dot{m}_L C_L + \dot{m}_U C_U)}{\dot{Q}}, \%, \quad (10.13)$$

gdzie:

33 830 - wartość opałowa czystego koksu (pierwiastkowego węgla), kJ/kg,

C_Z - udział masowy części palnych w żużlu i popiele, %,

- C_L - udział masowy części palnych w popiele lotnym, %,
 C_U - udział masowy części palnych w popiele unoszonym do atmosfery, %.

Udział masowy części palnych w odpadach paleniskowych oznacza się spalając reprezentatywną próbkę w elektrycznym piecu muflowym, w temperaturze $815 \pm 15^\circ\text{C}$ (4.3.4). Zawartość części palnych oblicza się ze wzoru

$$C = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} 100\%, \quad (10.14)$$

gdzie:

- m_1 - masa próbki (żużla i popiołu) wraz z naczynkiem przed spalaniem, g,
 m_2 - masa próbki wraz z naczynkiem po spalaniu, g,
 m_3 - masa naczynka, g.

W przypadku gdy zawartość części palnych przekracza 35% do wzoru (10.12) i (10.13) zamiast iloczynu $33\ 830 \cdot C$ podstawia się wartość opałową określoną w bombie kalorymetrycznej wg PN-73/G-04513 (4.3.6). Dla paliw gazowych strata niedopału równa jest zeru.

Straty mocy cieplnej spowodowane niezupełnym spalaniem występują wówczas, gdy w spalinach występują palne składniki gazowe. Ze względu na aktywność chemiczną wodoru w obliczeniach zakłada się, że jedynym składnikiem palnym, który może występować w spalinach jest CO. Wielkość tej straty oblicza się z zależności

$$Q_n = 12\ 644 \cdot \dot{B} (1 - \beta) V_{ss} \frac{[CO]}{100}, \quad \text{kW} \quad (10.15)$$

lub

$$S_n = 12\ 644 \cdot \frac{\dot{B} (1 - \beta) V_{ss} [CO]}{\dot{Q}}, \quad \%, \quad (10.16)$$

gdzie:

- 12 644 - wartość opałowa 1 um^3 tlenku węgla, kJ/um^3 ,
 $[CO]$ - udział objętościowy tlenku węgla w spalinach suchych, %,
 V_{ss} - objętość spalin suchych w warunkach umownych, $\text{um}^3/\text{kg pal.}$

Dla paliw stałych

$$V_{ss} = \frac{22,4}{12} \frac{C^r - C_n}{[CO_2] + [CO]}, \quad \frac{\text{um}^3 \text{ suchych spalin}}{\text{kg paliwa}}, \quad (10.17)$$

gdzie: C^r - udział masowy węgla w paliwie odniesiony do warunków roboczych, %,

$$C_n = a \frac{A^r}{100 - C_{sr}} C_{sr}, \quad \%, \quad (10.18)$$

gdzie:

a - współczynnik kontrakcji popiołu - dla węgla kamiennego $a = 0,9$,

A^r - udział masowy popiołu w paliwie odniesiony do stanu roboczego, %,

C_{sr} - średni udział masowy części palnych w odpadach paleniskowych, %,

$$C_{sr} = \frac{\dot{m}_Z C_Z + \dot{m}_L C_L + \dot{m}_U C_U}{\dot{m}_Z + \dot{m}_L + \dot{m}_U}, \quad \%. \quad (10.19)$$

Dla paliw gazowych $\beta = 0$, zaś objętość spalin suchych wynosi:

$$V_{ss} = \frac{\sum n \cdot u_{C_n H_m}}{[CO_2] + [CO]}, \quad \frac{\text{um}^3 \text{ suchych spalin}}{\text{um}^3 \text{ wilgotnego paliwa}}, \quad (10.20)$$

gdzie:

n - liczba atomów węgla w cząsteczce $C_n H_m$,

$u_{C_n H_m}$ - udział objętościowy składnika $C_n H_m$ w paliwie wilgotnym, %.

Straty mocy cieplnej w gorącym żużlu wywołane są usuwaniem z paleniska żużla i popiołu, najczęściej w stanie plastycznym, o temperaturze znacznie wyższej od temperatury otoczenia.

Wartość liczbowa określa się ze wzoru

$$\dot{Q}_Z = \dot{m}_Z [c_Z(t_Z - t_o) + \rho], \quad \text{kW}, \quad (10.21)$$

gdzie:

c_z - ciepło właściwe żużla i popiołu, $c_z = 0,8 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$,

t_z - temperatura żużla, $^{\circ}\text{C}$,

t_o - temperatura otoczenia, $^{\circ}\text{C}$,

q - ciepło topnienia żużla (uwzględnia się przy ciekłym odprowadzeniu żużla), $q = 251 \text{ kJ/kg}$.

W normie PN-72/M-34128 podany jest wzór uproszczony do obliczenia straty gorącego żużla

$$\dot{Q}_z = \dot{m}_z \bar{c}_z t_z, \quad \text{kW}, \quad (10.22)$$

gdzie: \bar{c}_z - średnie ciepło właściwe żużla wraz z ciepłem topnienia, $\bar{c}_z = 1,256 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

Względna strata mocy cieplnej w gorącym żużlu wynosi

$$S_z = \frac{\dot{Q}_z}{\dot{Q}} \cdot 100\%. \quad (10.23)$$

Moc cieplna odprowadzana ze spalinami do atmosfery (strata wylotowa, kominowa, odlotowa). Powodem powstawania tej straty jest ograniczenie temperatury, do której można ochłodzić spaliny ze względu na możliwość wykraplania się wilgoci i ewentualne powstawanie kwasu siarkowego. Powyższe zjawiska są niekorzystne, gdyż wywołują intensywną korozję przewodów spalinowych.

Wielkość mocy cieplnej odprowadzanej ze spalinami do atmosfery oblicza się z zależności

$$\dot{Q}_w = \dot{B}(1 - \beta) \left(V_{ss} c_{ps} \left| \begin{matrix} t_s \\ t_o \end{matrix} \right. + V_w c_{pw} \left| \begin{matrix} t_s \\ t_o \end{matrix} \right. \right) (t_s - t_o), \quad \text{kW} \quad (10.24)$$

lub

$$S_w = \frac{\dot{B}(1 - \beta) \left(V_{ss} c_{ps} \left| \begin{matrix} t_s \\ t_o \end{matrix} \right. + V_w c_{pw} \left| \begin{matrix} t_s \\ t_o \end{matrix} \right. \right) (t_s - t_o)}{\dot{Q}} \cdot 100\%, \quad (10.25)$$

gdzie:

V_{ss} - objętość spalin suchych, um^3/kg paliwa (dla paliw gazowych, um^3/um^3 wilgotnego paliwa), obliczona za pomocą wzorów (10.17) lub (10.20),

V_w - objętość pary wodnej w spalinach, um^3/kg paliwa (dla paliw gazowych, um^3/um^3 wilgotnego paliwa),

$C_{ps} \Big|_{t_0}^{t_s}$ - średnie ciepło właściwe spalin suchych przy stałym ciśnieniu w zakresie temperatur od t_0 do t_s , kJ/um^3 suchych spalin.

Wartość średniego ciepła właściwego spalin można obliczyć za pomocą wzoru

$$C_{ps} \Big|_{t_0}^{t_s} = \left([CO_2] C_{pCO_2} + [CO] C_{pCO} + [O_2] C_{pO_2} + [N_2] C_{pN_2} \right) \cdot 10^{-2}, \text{ kJ}/(\text{um}^3 \cdot K), \quad (10.26)$$

gdzie:

C_{pCO_2} - średnie ciepło właściwe CO_2 , $\text{kJ}/(\text{um}^3 \cdot K)$,

C_{pCO} - średnie ciepło właściwe CO , $\text{kJ}/(\text{um}^3 \cdot K)$,

C_{pO_2} - średnie ciepło właściwe O_2 , $\text{kJ}/(\text{um}^3 \cdot K)$,

C_{pN_2} - średnie ciepło właściwe N_2 , $\text{kJ}/(\text{um}^3 \cdot K)$,

$C_{pw} \Big|_{t_0}^{t_s}$ - średnie ciepło właściwe pary wodnej przy stałym ciśnieniu w zakresie temperatur od t_0 do t_s , $\text{kJ}/(\text{um}^3 \cdot K)$.

Dla paliw stałych objętość pary wodnej V_w oblicza się w zależności

$$V_w = \frac{22,4}{18} (9H^r + W_t^r) \cdot 10^{-2} + 1,607 \lambda (L_v)_t \cdot x, \quad \frac{\text{um}^3 H_2O}{\text{kg paliwa}}, \quad (10.27)$$

zaś dla paliw gazowych:

$$V_w = \sum \frac{m}{2} \cdot u_{C_n H_m} \cdot 10^{-2} + \frac{22,4}{18} x_g + 1,607 \lambda (L_v)_t x, \quad \frac{\text{um}^3 H_2O}{\text{um}^3 \text{ wilg. paliwa}} \quad (10.28)$$

gdzie: H^r - udział masowy wodoru w paliwie odniesiony do stanu roboczego, %,

- W_t^r - wilgoć całkowita paliwa w warunkach roboczych, %,
 λ - współczynnik nadmiaru powietrza,
 $(L_v)_t$ - teoretyczne zapotrzebowanie suchego powietrza do spalania paliwa, um^3/kg paliwa (dla paliw gazowych um^3/um^3 wilgotnego paliwa),
 x - zawartość wilgoci w powietrzu, $\text{kg H}_2\text{O}/\text{kg}$ suchego powietrza,
 m - liczba atomów wodoru w cząsteczce związku C_nH_m ,
 $u_{\text{C}_n\text{H}_m}$ - udział objętościowy składnika C_nH_m w wilgotnym paliwie, %,
 x_g - zawartość wilgoci w gazie palnym, $\text{kg H}_2\text{O}/\text{um}^3$ wilgotnego paliwa.

Przybliżoną wartość straty wylotowej można obliczyć ze wzoru empirycznego Siegerta

$$S_w = \alpha \frac{t_s - t_o}{[\text{CO}_2]}, \% \quad (10.29)$$

gdzie: α - współczynnik zależny od zawartości $[\text{CO}_2]$ w suchych spalinach i wilgoci w paliwie. Dla $[\text{CO}_2] = 4 \div 16\%$ oraz $W_t^r = 0 \div 10\%$, współczynnik $\alpha = 0,64 \div 0,72$.

Straty mocy cieplnej na skutek wymiany ciepła z otoczeniem

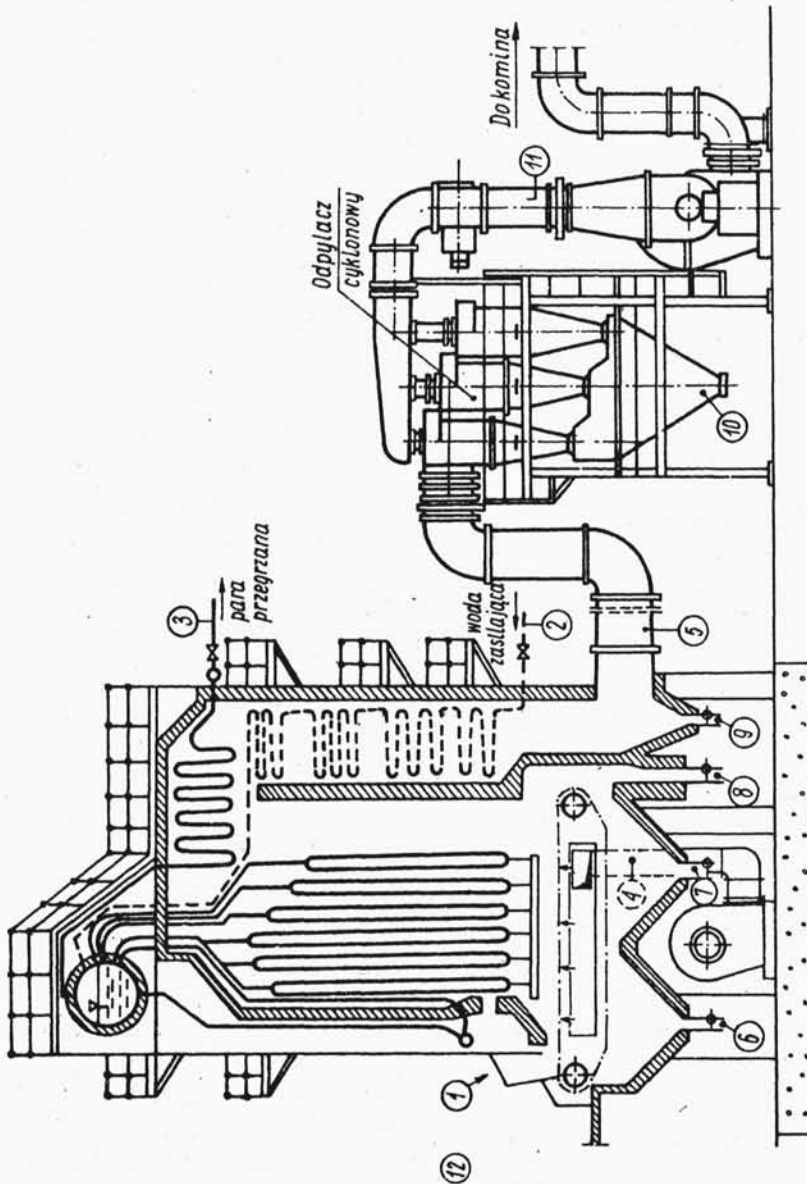
Wartość liczbowa tych strat określa się najczęściej w sposób pośredni, jako uzupełnienie bilansu

$$\dot{Q}_o = \dot{Q} - [\dot{Q}_D + \dot{Q}_{ps} + \dot{Q}_{nc} + \dot{Q}_n + \dot{Q}_Z + \dot{Q}_w], \quad \text{kW} \quad (10.30)$$

lub

$$S_o = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{Q}} \cdot 100\%. \quad (10.31)$$

Przy określaniu tej straty w sposób pośredni wynik obarczony jest błędem wynikającym z pomiarów oraz obliczeń wszystkich składowych bilansu.



Rys.10.1.1. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych w instalacji kotłowej

Istnieje możliwość obliczenia z pewnym przybliżeniem wartości \dot{Q}_0 za pomocą wzoru

$$\dot{Q}_0 = \sum A_i \alpha_i (t_i - t_0) \cdot 10^{-3}, \quad \text{kW}, \quad (10.32)$$

gdzie:

A_i - pole i-tej powierzchni zewnętrznej kotła, m^2 ,

α_i - współczynnik przejmowania ciepła dla tej powierzchni, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,

t_i - średnia temperatura i-tej powierzchni, $^{\circ}\text{C}$,

t_0 - temperatura otoczenia, $^{\circ}\text{C}$.

Wartości liczbowe współczynnika przejmowania ciepła dla powierzchni zewnętrznej kotłów podane są w literaturze [0-1].

Dla dużych jednostek kotłowych (powyżej 1 MW) wielkość strat ciepła na skutek wymiaru z otoczeniem można określić z nomogramu podanego w normie PN-72/M-34128.

10.4. METODYKA WYKONYWANIA BADAŃ

10.4.1. ROZMIESZCZENIE PUNKTÓW POMIAROWYCH

Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych dla kotła parowego pokazano na rys.10.1. Rodzaj zainstalowanej aparatury kontrolno-pomiarowej zestawiono w poniższej tabelicy:

Tablica 10.1

Zestawienie aparatury użytej do badań cieplnych kotła

Nr punktu	Wielkości mierzona	Rodzaj zastosowanej aparatury
1	Strumień masy i wartość opałowa paliwa	Waga dziesiętna, pobieranie próbek paliwa do analizy
2	Strumień masy wody zasilającej, temperatura, ciśnienie	Kryza ISA lub wodomierz termometr, manometr
3	Strumień masy pary, parametry pary	Kryza ISA, termometr, manometr ew. kalorymetr dławiaczy lub kalorymetr Greena

Nr punktu	Wielkości mierzone	Rodzaj zastosowanej aparatury
4	Strumień masy powietrza	Termometr, obrotomierz, rurka Prandtla, mikromanometr i ew. psychrometr
5	Skład spalin, parametry spalin	Analizator Orsata, wykrywacz gazów, termometr, mikromanometr
6	Strumień masy przesypu	Waga dziesiętna oraz pobieranie próbek do analizy
7	Strumień masy żużla i popiołu, zawartość części palnych	Waga dziesiętna oraz pobieranie próbek do analizy
8	Strumień masy żużla i popiołu, zawartość części palnych oraz temperatura	Waga dziesiętna, pirometr oraz pobieranie próbek do analizy
9	Strumień masy popiołu, zawartość części palnych	Waga dziesiętna oraz pobieranie próbek do analizy
10	Strumień masy lotnego popiołu, zawartość części palnych	Waga dziesiętna oraz pobieranie próbek do analizy
11	Strumień masy popiołu unoszonego do atmosfery oraz zawartość części palnych	Układ pomiarowy z sondą do pobierania pyłu, pobieranie próbek do analizy
12	Parametry otoczenia	Termometr szklany, barometr hydrostatyczny, psychrometr Assmana

10.4.2. PRZYRZĄDY POMIAROWO-KONTROLNE

Aparatura kontrolno-pomiarowa powinna być tak dobrana, aby błąd końcowy wyników bilansu cieplnego nie przekraczał dopuszczalnych tolerancji. Z powyższego powodu pomiary wielkości fizycznych wchodzących w skład bilansu powinny odpowiadać wymaganiom podanym w normie PN-72/M-34128.

Pomiar strumienia masy paliwa stałego dokonuje się metodą ważenia. Do tego celu używa się najczęściej wag dziesiętnych, dla których dopuszczalna granica błędu wzorcowania wynosi 0,5 g na każdy kilogram obciążenia. Dla paliw gazowych pomiar objętości strumienia masy dokonuje się gazomierzami.

Pomiar strumienia masy płynów (wody, pary) należy wykonywać z wężykami pomiarowymi zgodnie z normą PN-65/M-53950. Strumień masy gazów należy mierzyć za pomocą rurek spiętrzających Prandtla lub Pitota. W przewodach o dużym przekroju należy dokonywać pomiarów wielopunktowych zgodnie z zasadami podanymi w p.8.3.4. Pomiar strumienia pary nasyconej należy dokonywać w sposób pośredni przez określanie strumienia masy wody zasilającej kocioł. Dla małych kotłów dopuszcza się pomiar strumienia masy wody za pomocą ważenia lub w objętościowych zbiornikach pomiarowych.

Pomiar strumienia masy odpadów paleniskowych wykonuje się za pomocą ważenia. Jeżeli odpady ważone są w stanie wilgotnym należy pobrać próbkę w celu określenia zawartości wilgoci.

Pomiar temperatury wykonuje się termometrami szklanymi, oporowymi lub termoelementami. Temperaturę wody, pary i powietrza należy mierzyć termometrami, których błąd pomiaru jest mniejszy od 0,5% wartości mierzonej. Należy zwrócić uwagę na poprawny sposób zamontowania czujników termometrów, a dla termometrów szklanych stosować poprawkę na wystający słupek cieczy termometrycznej.

Pomiar ciśnień wykonuje się w zależności od zakresu:

- a) powyżej 0,25 MPa - manometrami sprężynowymi z rurką Bourdona. Pomiar ciśnienia wody lub pary powinien być wykonany z dokładnością $\pm 1\%$,
- b) poniżej 0,25 MPa stosuje się manometry hydrostatyczne,
- c) do bardzo małych ciśnień stosuje się mikromanometry Recknagla, Krella itp.

Ciśnienie atmosferyczne należy mierzyć barometrami hydrostatycznymi.

Pomiar składu spalin wykonuje się ręcznymi analizatorami spalin typu Orsata. Zawartość CO w spalinach można określać wykrywaczami gazów, opartymi na zasadzie zmiany barwy (p.6.3.5)

10.4.3. BADANIA WSTĘPNE KOTŁA

Przed przystąpieniem do pomiarów cieplnych należy przeprowadzić badania wstępne w celu sprawdzenia prawidłowości wskazań aparatury, zapoznania personelu z obowiązkami i metodyką pomiarów, wyregulowania urządzeń i sprawdzenia stanu zabezpieczeń kotła.

10.4.4. CZAS TRWANIA POMIARÓW BILANSOWYCH

Przed przystąpieniem do pomiarów kocioł powinien osiągnąć równowagę cieplną. W tym celu kocioł powinien być w eksploatacji co najmniej przez 3 doby.

W ciągu ostatniej doby przed pomiarami wydajność cieplna kotła rusztowego powinna wynosić $3/4$ wydajności projektowanej do badań przez 18 godzin, zaś ostatnie 6 godzin z pełną wydajnością (projektowaną do badań). Kotły pyłowe odpowiednio przy $3/4$ wydajności - 9 godzin, zaś ostatnie 3 godziny przy pełnej wydajności.

Czas trwania pomiarów bilansowych wynosi:

- dla kotłów rusztowych - 6 godzin,
- dla kotłów pyłowych - 4 godziny

10.4.5. WYMAGANIA DOTYCZĄCE PARAMETRÓW PRACY KOTŁA W CZASIE BADAŃ

Na początku i końcu badania powinny być osiągnięte podobne warunki pracy kotła:

- spalania w komorze paleniskowej,
- dopływu strumienia paliwa, powietrza i wody zasilającej,
- poboru pary lub wody z kotła,
- ciśnienia pary,
- poziomu wody w walczaku.

Ponadto parametry pracy kotła nie powinny ulegać znacznym wahaniom w czasie trwania badań. Dopuszczalne wahania parametrów w stosunku do wartości średniej nie powinny przekraczać:

moc cieplna	$\pm 6\%$,
ciśnienie pary	$\pm 4\%$,
temperatura	$\pm 5\%$
różnica temperatur spalin i powietrza	$\pm 6\%$,

10.4.6. CZĘSTOTLIWOŚĆ ODCZYTÓW

Zalecana częstotliwość odczytów wynosi:

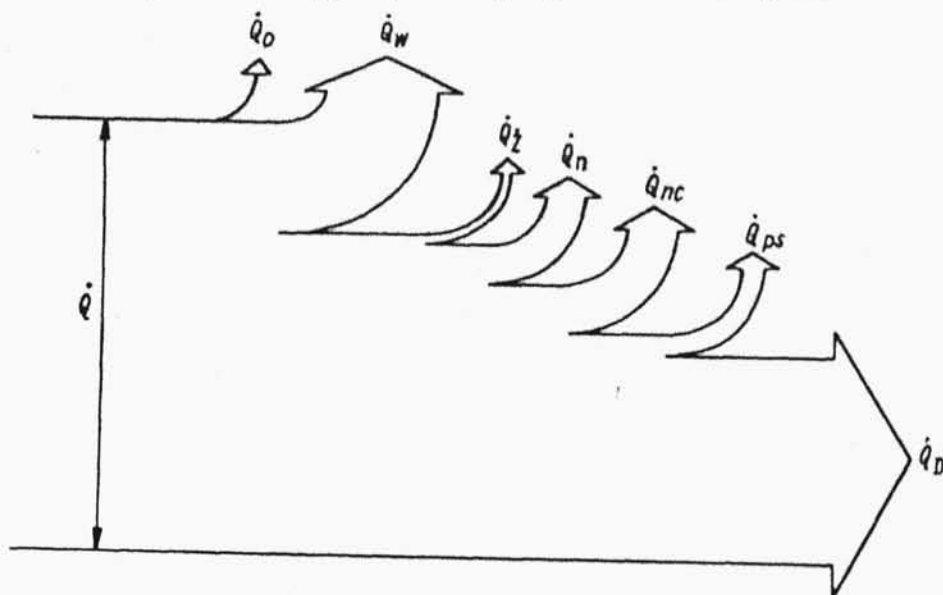
strumienia masy wody, pary i powietrza	- co 2 ÷ 5 minut,
ciśnienia i temperatury	- co 10 minut,
analizy spalin	- co 15 minut.

Pobieranie próbek paliwa powinno odbywać się możliwie w równych odstępach czasu w ten sposób, aby otrzymać próbkę reprezentatywną.

10.5. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIAROWYCH

Po wykonaniu pomiarów cieplnych określa się w laboratorium skład paliwa, wartość opałową paliwa i ewentualnie prze-sypu oraz zawartość części palnych w odpadach paleniskowych.

Następnie przystępuje się do opracowywania wyników pomiarowych. Przy pomiarach wielkości wolnozmiennych do obliczeń przyjmuje się średnią arytmetyczną z otrzymanych wyników pomiarowych. Dla niektórych wielkości zmiennych, jak np. pomiar strumienia masy pary za pomocą zwężek, wartości średnie można określić planimetrując wykres wydajności chwilowych.



RyB.10.2. Wykres Sankey'a

Korzystając z zależności podanych w p.10.2 i 10.3, można obliczyć sprawność kotła i procentowy udział poszczególnych strat. Wyniki bilansu można przedstawić graficznie na wykresie Sankey'a (rys.10.2). W przypadku wykonywania bilansów cieplnych kotła dla kilku wybranych wielkości obciążenia, istnieje możliwość sporządzenia wykresu sprawności w zależności od obciążenia $\eta = f(Q_D)$ i określenia sprawności maksymalnej kotła.

Sposób określenia błędów pomiarów omówiono dokładnie w normie PN-72/M-34128.

11. BADANIE WENTYLATORÓW

Wentylatory są maszynami roboczymi, które przetwarzają energię mechaniczną przekazaną im przez wał silnika napędowego na energię potencjalną (ciśnienia) i energię kinetyczną powietrza (gazu). Pod względem konstrukcyjnym wentylatory dzielą się na promieniowe i osiowe. W maszynach promieniowych kierunek przepływu czynnika zmienia się z równoległego na prostopadły, natomiast w osiowych przepływ jest równoległy do osi wirnika.

Celem badania wentylatorów jest wyznaczenie ich charakterystyki. W zasadzie rozróżnia się dwa rodzaje badań wentylatorów:

Badania pełne, których celem jest dokładna ocena wentylatora pod względem budowy, wykonania, zastosowanych materiałów i uzyskania założonych wielkości charakterystycznych,

Badania niepełne, które obejmują: sprawdzenie wymiarów, sprawdzenie silnika, pomiar hałasu oraz sprawdzenie parametrów pracy wentylatora w określonych warunkach aerodynamicznych.