

KOTŁY
GRZEWCZEKotły grzewcze
Badania cieplneZamiast
BN-71/1317-02

Grupa katalogowa 0724

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP

- 1.1. Przedmiot normy
- 1.2. Zakres stosowania normy
- 1.3. Określenia
- 1.4. Symbole

2. DOBÓR KOTŁÓW

- 2.1. Dobór kotłów produkowanych seryjnie dla oceny typu
- 2.2. Dobór kotła dla oceny typoszeregu (serii) kotłów

3. STANOWISKA BADAWCZE

- 3.1. Wymagania dotyczące stanowisk badawczych
- 3.2. Podstawowe instalacje i wyposażenia stanowisk badawczych
 - 3.2.1. Instalacja obiegu czynnika grzewczego
 - 3.2.2. Instalacja obiegu czynnika chłodzącego
 - 3.2.3. Instalacja odprowadzania spalin
 - 3.2.4. Instalacja wody zasilającej stanowisko
 - 3.2.5. Instalacja odprowadzania ścieków
 - 3.2.6. Instalacja ogrzewania i wentylacji stacji badań
 - 3.2.7. Instalacja elektryczna stanowiska badawczego
 - 3.2.8. Instalacja doprowadzająca paliwo gazowe
 - 3.2.9. Instalacja doprowadzająca paliwo ciekłe
 - 3.2.10. Instalacja kontrolno-pomiarowa

4. BADANIA CIEPLNE

- 4.1. Zakres badań cieplnych
 - 4.1.1. Właściwości cieplne kotła
 - 4.1.2. Właściwości eksploatacyjne kotła
 - 4.1.3. Określenie zakresu badań cieplnych
- 4.2. Badania dodatkowe
- 4.3. Organizacja badań
- 4.4. Paliwo do badań
 - 4.4.1. Dobór paliwa do badań
 - 4.4.2. Paliwa stałe
 - 4.4.3. Paliwa ciekłe
 - 4.4.4. Paliwo gazowe
- 4.5. Warunki badań
 - 4.5.1. Powierzchnia ogrzewalna kotła
 - 4.5.2. Równowaga cieplna kotła
 - 4.5.3. Częstotliwość odczytów wskazań przyrządów pomiarowych
 - 4.5.4. Przebieg procesu spalania
 - 4.5.5. Czas trwania badań
 - 4.5.6. Parametry pracy kotłów

- 4.6. Sposób prowadzenia badań
 - 4.6.1. Badania wstępne
 - 4.6.2. Badania bilansowe
- 4.7. Przyrządy pomiarowe i metody pomiarów
 - 4.7.1. Przyrządy pomiarowe
 - 4.7.2. Strumień masy cieczy, pary i powietrza
 - 4.7.3. Pomiar zużycia paliwa
 - 4.7.4. Jakość paliwa
 - 4.7.5. Pomiar masy odpadów paleniskowych
 - 4.7.6. Oznaczanie zawartości części palnych w odpadach paleniskowych
 - 4.7.7. Pomiar temperatur
 - 4.7.8. Pomiar ciśnień
 - 4.7.9. Analiza chemiczna spalin
 - 4.7.10. Analiza chemiczna wody
 - 4.7.11. Pomiar wilgotności pary
 - 4.7.12. Pomiar wielkości elektrycznych

5. OBLICZENIA CIEPLNE BILANSOWE

- 5.1. Przygotowanie wyników pomiarów do obliczeń
- 5.2. Moc doprowadzona do kotła z paliwem
 - 5.2.1. Moc całkowita doprowadzona do kotła
 - 5.2.2. Moc zawarta w składnikach palnych paliwa
 - 5.2.3. Moc cieplna doprowadzona do kotła z paliwem podgrzanym
 - 5.2.4. Moc cieplna dostarczona do kotła z powietrzem
- 5.3. Moc kotła
 - 5.3.1. Moc kotła wodnego obliczona na podstawie przyrostu temperatury wody przepływającej przez kocioł
 - 5.3.2. Moc kotła wodnego lub parowego obliczona na podstawie pomiarów przyrostu temperatury wody chłodzącej przepływającej przez wymiennik ciepła
 - 5.3.3. Moc kotła parowego obliczona na podstawie pomiarów ciśnienia i wilgotności pary oraz ilości wody doprowadzonej do kotła
- 5.4. Straty cieplne
 - 5.4.1. Strata kominowa
 - 5.4.2. Strata niezupełnego spalania
 - 5.4.3. Strata niecałkowitego spalania
 - 5.4.4. Strata ciepła do otoczenia
- 5.5. Sprawność cieplna kotła
- 5.6. Bilans cieplny kotła
- 5.7. Współczynnik nadmiaru powietrza
- 5.8. Względne obciążenie (mocy) kotła
- 5.9. Natężenie powierzchni ogrzewalnej kotła
- 5.10. Natężenie cieplne rusztu
- 5.11. Natężenie masowe rusztu

Zgłoszona przez Ośrodek Normalizacji przy Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Wyrobów Instalacyjno-Sanitarnych i Grzewczych
 Ustanowiona przez Dyrektora Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Wyrobów Instalacyjno-Sanitarnych i Grzewczych
 dnia 17 kwietnia 1986 r. jako norma obowiązująca od dnia 1 stycznia 1987 r.
 (Dz. Norm. i Miar nr 9/1986, poz. 18)

6. WYZNACZANIE BŁĘDÓW

6.1. Zasady ogólne

6.2. Błędy przy wyznaczaniu sprawności kotła metodą bezpośrednią

- 6.2.1. Błąd pomiaru zużycia paliwa f_1
 6.2.2. Błąd wyznaczania jakości paliwa f_2
 6.2.3. Błąd pobierania próbek paliwa f_3
 6.2.4. Błąd wyznaczania wartości opałowej f_4
 6.2.5. Błąd pomiaru strumienia masy czynnika grzewczego (ciecz, para wodna, powietrze) f_5
 6.2.6. Błąd wyznaczania ilości ciepła przyjętego przez 1 kg czynnika f_6
 6.2.7. Błąd dodatkowy bezpośredniej metody wyznaczania sprawności f_7

6.2.8. Całkowity błąd wyznaczania sprawności kotła f_0 metodą bezpośrednią

6.3. Błędy przy wyznaczaniu sprawności kotła metodą pośrednią

- 6.3.1. Błąd wyznaczania strat wylotowej f_8
 6.3.2. Błąd wyznaczania straty niepełnego spalania f_9
 6.3.3. Błąd wyznaczania straty niedopału w odpadach paleniskowych f_{10}
 6.3.4. Błąd wyznaczania strat ciepła do otoczenia f_{11}
 6.3.5. Całkowity błąd wyznaczania sprawności kotła metodą pośrednią f_{12}

7. SPRAWOZDANIE Z BADAŃ

INFORMACJE DODATKOWE

1. WSTĘP

1.1. **Przedmiot normy.** Przedmiotem normy są badania cieplne kotłów grzewczych.

1.2. **Zakres stosowania normy.** Normę należy stosować do badań kotłów grzewczych w celu określenia:

mocy, sprawności cieplnej, wielkości poszczególnych strat cieplnych, ciśnienia spalin w czopuchu oraz wartości oporu hydraulicznego dla oceny prototypów oraz kotłów z produkcji seryjnej.

1.3. **Określenia** — wg PN-70/H-83136.

1.4. **Symbole** — wg tabl. 1.

Tablica 1

l.p.	Symbol	Jednostka miary	Nazwa
1	A_p	%	zawartość popiołu w paliwie
2	B	kg/s	strumień masy paliwa stałego lub ciekłego dostarczonego do kotła
3	b	%	zawartość części palnych w masie G_p
4	$[\text{CO}]_{\text{trecz}}$	%	udział składnika (składników) w spalinach suchych określony na podstawie analizy spalin
5	$[\text{CO}_2]_{\text{trecz}}$	%	
6	$[\text{CO}_2 + \text{CO}]_{\text{trecz}}$	%	
7	$[\text{CO}_2]_{\text{max}}$	%	maksymalny udział CO_2 w spalinach suchych wyliczony ze wzorów stechiometrycznych
8	c_{pal}	kJ/kg °C kJ/m ³ °C	średnie ciepło właściwe paliwa w przedziale temperatur $\langle t_0, t_{\text{pal}} \rangle$: dla paliw gazowych należy przyjmować średnie ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu
9	c_p pow	kJ/m ³ °C	średnie ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu powietrza w zakresie temperatur $\langle t_0, t_{\text{pow}} \rangle$
10	c_{ps}	kJ/m ³ °C	średnie ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu pary wodnej w zakresie temperatur $\langle t_0, t_{\text{spal}} \rangle$
11	c_{pspal}	kJ/m ³ °C	średnie ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu spalin odlotowych w zakresie temperatur $\langle t_0, t_{\text{spal}} \rangle$
12	$c_{ps,spal}$	kJ/m ³ °C	średnie ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu spalin suchych w zakresie temperatur $\langle t_0, t_{\text{spal}} \rangle$
13	c_w	kJ/kg °C	ciepło właściwe wody
14	F	m ²	całkowita powierzchnia ogrzewalna kotła
15	F_z	m ²	część zewnętrznej powierzchni kotła oddającej ciepło do otoczenia
16	f_r	m ²	powierzchnia rusztu
17	$f_1 \div f_{12}$ $f_{[\text{CO}_2 + \text{CO}]}$, f_p , f_z, f_3, f_6, f_{11}	%	błędy pomiarów
18	G	kg/s	strumień masy wody (kondensatu) doprowadzonego do kotła
19	G_3	kg	masa wody przed pobraniem próbki
20	G_4	kg	masa wody po pobraniu próbki
21	G_1	kg/s	strumień masy wody przepływającej przez kocioł
22	G_2	kg/s	strumień masy wody przepływającej przez wymiennik

cd. tabl. 1

Lp.	Symbol	Jednostka miary	Nazwa
23	G_p	kg	pozostałość po spalaniu paliwa w ciągu 1 s, składająca się z popiołu, żużla i drobnych kawałków paliwa przesypanego przez ruszt
24	i	kJ/kg	entalpia właściwa pary wodnej
25	i'	kJ/kg	entalpia właściwa wody przy temperaturze nasycenia
26	i''	kJ/kg	entalpia suchej pary nasyconej
27	i_n	kJ/kg	entalpia właściwa wody lub kondensatu doprowadzonego do kotła
28	k	—	liczba próbek pierwotnych paliwa pobieranych w czasie pomiaru
29	L	m ³ /kg, m ³ /m ³	całkowita objętość powietrza doprowadzona do kotła dla spalania 1 kg paliwa
30	L_t	m ³ /kg, m ³ /m ³	teoretyczna objętość powietrza potrzebnego do spalania zupełnego 1 kg paliwa; dla paliw gazowych — w warunkach normalnych
31	n	—	współczynnik nadmiaru powietrza wyrażający stosunek ilości powietrza doprowadzonej do paleniska do minimalnej ilości powietrza potrzebnej do spalania
32	m	—	liczba napełnień zbiornika paliwa w czasie pomiaru
33	p_b	MPa	ciśnienie atmosferyczne
34	p_g	MPa	ciśnienie gazu dostarczonego do kotła, mierzone na wylocie z gazomierza
35	p_n	MPa	ciśnienie gazu w warunkach normalnych
36	p_s	MPa	ciśnienie nasycenia pary wodnej w gazie przy temperaturze t_g
37	Q	kW	całkowita moc doprowadzona do kotła z paliwem
38	Q_{ch}	kW	moc zawarta w składnikach palnych paliwa
39	Q_k	kW	moc kotła
40	Q_N	kW	nominalna moc kotła
41	Q_{pal}	kW	moc cieplna doprowadzona do kotła z paliwem podgrzanym
42	Q_{pow}	kW	moc cieplna dostarczona do kotła z powietrzem podgrzanym
43	Q_R	kW	straty ciepłe stanowiska badawczego
44	Q_x	kW	ilość ciepła oddana w ciągu sekundy przez powierzchnię zewnętrzną kotła F_x drogą promieniowania
45	q	kW/m ²	natężenie powierzchni ogrzewalnej kotła
46	q_{cr}	kW/m ²	natężenie ciepłe rusztu
47	q_k	%	względne obciążenie (moc) kotła
48	q_m	kW/m ²	natężenie ciepłe rusztu
49	r_1	kJ/kg	ciepło parowania przy ciśnieniu pary w przewodzie parowym
50	S_{CO}	%	strata niezupełnego spalania
51	S_k	%	strata kominowa
52	S_p	%	strata niecałkowitego spalania
53	S_{pr}	%	strata promieniowania
54	t_0	°C	temperatura otoczenia
55	t_1	°C	temperatura wody przed pobraniem próbki
56	t_2	°C	temperatura wody po pobraniu próbki
57	t_g	°C	temperatura gazu dostarczonego do kotła, mierzona na wylocie z gazomierza
58	t_{k1}	°C	temperatura wody na odpływie z kotła
59	t_{k2}	°C	temperatura wody chłodzącej na odpływie z wymiennika
60	t_n	°C	temperatura gazu w warunkach normalnych
61	t_{p1}	°C	temperatura wody na dopływie do kotła
62	t_{p2}	°C	temperatura wody chłodzącej na dopływie do wymiennika
63	t_{pal}	°C	temperatura paliwa
64	t_{pow}	°C	temperatura powietrza dostarczonego do kotła

cd. tabl. 1

Lp.	Symbol	Jednostka miary	Nazwa
65	t_{spal}	°C	temperatura spalin odlotowych mierzona w odcinku pomiarowym spalin
66	t_s	°C	średnia temperatura powierzchni pola
67	V	m ³ /s	strumień objętości gazu dostarczonego do kotła wskazany przez gazomierz
68	V_c	m ³	objętość cieczy
69	V_o	m ³ /s	strumień objętości gazu spalonego, sprowadzony do warunków normalnych
70	v_{H_2O}	m ³ /kg	objętość właściwa pary wodnej przy temperaturze równej t_{pal}
71	v_{par}	m ³ /kg	objętość właściwa pary wodnej
72	v_{pow}	m ³ /kg	objętość właściwa powietrza suchego
73	$V_m\ spal$	m ³ /kg, m ³ /m ³	teoretyczna objętość spalin mokrych, powstająca z zupełnego spalania 1 kg paliwa stałego i ciekłego lub 1 m ³ paliwa gazowego (objętość spalin suchych powiększona o objętość pary wodnej uzyskanej przez spalanie wodoru lub jego związków zawartych w paliwie)
74	V_{spal}	m ³ /kg, m ³ /m ³	objętość spalin wytworzona z 1 kg paliwa stałego lub ciekłego albo 1 m ³ paliwa gazowego odniesiona do warunków normalnych
75	$V_s\ spal$	m ³ /kg	teoretyczna objętość spalin suchych powstająca z zupełnego spalania 1 kg paliw stałych i ciekłych lub z 1 m ³ gazu w warunkach normalnych obliczona z równań stechiometrycznych
76	W_d	kJ/kg, kJ/m ³	wartość opałowa paliwa (dla paliw gazowych: wartość opałowa gazu w warunkach normalnych)
77	W_{dp}	kJ/kg	wartość opałowa pozostałości po spalaniu
78	w_{pal}	%	zawartość wody w paliwie użytym do spalania
79	w_{pow}	%	zawartość wody w powietrzu użytym do spalania
80	w_{spal}	%	zawartość pary wodnej w spalinach mokrych
81	x	%	stopień suchości pary nasyconej
82	x_{pow}	%	wilgotność powietrza użytego do spalania
83	y	—	liczba oddzielnych oznaczeń wartości opałowej
84	α_s	kW/h ² °C	współczynnik strat ciepłych
85	Δ_s	m ²	błąd bezwzględny odczytu (0,5 najmniejszej działki skali)
86	Δt_n	°C	różnica temperatury wody na wyjściu i wejściu do kotła
87	η	%	sprawność kotła
88	η_p	%	sprawność paleniska
89	τ	s	czas

2. DOBÓR KOTŁÓW

2.1. Dobór kotłów produkowanych seryjnie dla oceny typu. Kocioł przeznaczony do badań dla oceny typu powinien pochodzić z produkcji seryjnej i powinien być wybrany losowo wg PN-83/N-03010.

2.2. Dobór kotła dla oceny typoszeregu (serii) kotłów. Dla pełnej oceny typoszeregu (serii) kotłów, w których iloraz mocy kotła największego i mocy kotła najmniejszego jest mniejszy lub równy 1,6, należy zbadać kocioł największy i najmniejszy.

Jeżeli typoszereg obejmuje kotły, w których iloraz ten jest większy niż 1,6, należy zawsze zbadać kocioł najmniejszy i największy oraz dodatkowo kotły tylu wielkości pośrednich, aby iloraz nie przekroczył wartości 1,6 dla kolejnych badanych kotłów. Analizę danych technicznych i ocenę kotłów z jednego typoszeregu, pominiętych w badaniach, wykonuje się przez prostoliniową interpolację wartości uzyskanych dla kotłów badanych.

3. STANOWISKA BADAWCZE

3.1. Wymagania dotyczące stanowisk badawczych. Stanowisko badawcze powinno być tak wykonane, aby umożliwiało:

- pracę kotła w wymaganym zakresie mocy przy żądanych parametrach pracy,
- regulację parametrów pracy kotła,
- osiągnięcie wymaganej dokładności pomiarów,
- stabilną pracę badanego kotła,
- łatwe ustalenie warunków równowagi cieplnej układu w całym zakresie mocy badanego kotła.

3.2. Podstawowe instalacje i wyposażenia stanowisk badawczych

3.2.1. Instalacja obiegu czynnika grzewczego powinna zapewniać przepływ przez badany kocioł wymaganej ilości wody (przy badaniu kotłów wodnych) lub doprowadzenie wody i odprowadzenie pary (przy badaniu kotłów parowych). Instalacja ta powinna zapewniać

przepływ stabilny w całym zakresie wymaganych wydatków oraz umożliwić pomiar ilości przepływającego czynnika i jego parametrów.

3.2.2. Instalacja obiegu czynnika chłodzącego powinna zapewniać odbiór ciepła od czynnika grzewczego w całym zakresie mocy badanego kotła oraz łatwe dostosowanie wydajności układu chłodzącego do mocy badanego kotła i stabilne warunki pracy układu chłodzącego. Ponadto instalacja obiegu czynnika chłodzącego powinna umożliwiać pomiar wydatku przepływającej wody chłodzącej oraz jej temperatury.

3.2.3. Instalacja odprowadzania spalin powinna zapewniać:

- odprowadzenie spalin od wylotu z czopucha badanego kotła na zewnątrz stanowiska badawczego,
- możliwość uzyskania potrzebnego ciśnienia spalin w czopuchu badanego kotła,
- możliwość regulacji ciśnienia spalin w czopuchu kotła w wymaganym zakresie,
- możliwość pomiaru wartości ciśnienia, temperatury i składu chemicznego spalin na wylocie z kotła.

3.2.4. Instalacja wody zasilającej stanowisko badawcze powinna zapewniać doprowadzenie wody do obiegu czynnika grzewczego i do obiegu wody chłodzącej. W zależności od typu stanowiska instalacja wody zasilającej może być przeznaczona jedynie do napełnienia poszczególnych obiegów z ewentualnym uzupełnieniem ubytku i w tym przypadku wydajność tej instalacji jest na ogół niewielka i zależna od przyjętego czasu napełniania lub może też stanowić stałe zasilanie instalacji obiegu czynnika grzewczego lub wody chłodzącej, która częściowo lub w całości odprowadzana jest z kotła lub wymiennika do instalacji odprowadzania ścieków. W tym przypadku strumień masy wody zasilającej zależy od mocy badanego kotła.

3.2.5. Instalacja odprowadzania ścieków może być włączona do ogólnej sieci kanalizacyjnej lub stanowić oddzielną instalację umożliwiającą odprowadzenie wody do zbiorników rezerwowych z możliwością ponownego jej wykorzystania.

3.2.6. Instalacja ogrzewania i wentylacji stacji badań, w której zlokalizowane jest stanowisko badawcze, powinna zapewniać:

- bezpieczne i higieniczne warunki pracy na stanowisku,
- właściwą temperaturę w pomieszczeniu stacji ze względu na działanie aparatury pomiarowej i warunki równowagi cieplnej,
- doprowadzenie powietrza niezbędnego do spalania przez zastosowanie wentylacji naturalnej lub wymuszonej.

3.2.7. Instalacja elektryczna stanowiska badawczego powinna obejmować:

- instalację o napięciu 3×380 V,
- instalację oświetleniową o napięciu 220 V,
- instalację niskoprądową o napięciu 24 V.

3.2.8. Instalacja doprowadzająca paliwo gazowe. Stanowiska badawcze, na których przewiduje się badania kotłów opalanych gazem, powinny być wyposażone

w instalację gazową doprowadzającą gaz ze źródła zasilania (instalacji gazowej, zbiornika gazu lub butli).

3.2.9. Instalacja doprowadzająca paliwo ciekłe. Stanowiska badawcze, na których przewiduje się badania kotłów opalanych paliwem ciekłym, powinny być wyposażone w instalację doprowadzającą te paliwa.

3.2.10. Instalacja kontrolno-pomiarowa powinna zapewniać przeprowadzenie badań w wymaganym zakresie i z wymaganą dokładnością.

4. BADANIA CIEPLNE

4.1. Zakres badań cieplnych

4.1.1. Właściwości cieplne kotła. Do podstawowych właściwości zalicza się:

- sprawność cieplną,
- wielkość strat cieplnych,
- temperaturę spalin na wylocie z kotła,
- parametry termodynamiczne czynnika grzewczego.

4.1.2. Właściwości eksploatacyjne kotła. Do podstawowych właściwości eksploatacyjnych zalicza się:

- opory hydrauliczne po stronie wody,
- okres stałopalności,
- ciśnienie spalin na wylocie z kotła,
- skład chemiczny spalin na wylocie z kotła,
- pojemność wodną,
- pojemność paliwową wg PN-70/H-83136.

4.1.3. Określenie zakresu badań cieplnych wykonywane jest na wniosek zlecającego badania przez podanie, które właściwości kotła i przy jakich mocach mają być zbadane.

4.2. Badania dodatkowe mogą dotyczyć innych właściwości kotła niż wymienione w 4.1.1 i 4.1.2, np.: dobór właściwego paliwa, określenie mocy znamionowej kotła lub innych parametrów jego pracy.

Zakres badań dodatkowych jest uzgodniony każdorazowo między zlecającym badania, a ich wykonawcą.

4.3. Organizacja badań. Przed przystąpieniem do badań cieplnych kotła należy:

- określić zakres badań zgodnie z 4.1.3,
- dokonać doboru kotła do badań i jego wyposażenia zgodnie z rozdz. 2 i 3,
- dokonać doboru metody pomiaru,
- opracować program badań obejmujący określenie ilości i rodzajów pomiarów oraz sporządzić schemat układu pomiarowego kotła i wykaz wielkości mierzonych, z określeniem częstotliwości odczytów i wskazań przyrządów pomiarowych.
- dokonać doboru przyrządów pomiarowych do pomiaru poszczególnych wielkości,
- dobrać do badań paliwo i zabezpieczyć jego potrzebną ilość.

4.4. Paliwo do badań

4.4.1. Dobór paliwa do badań. Do badań kotłów należy stosować paliwo podawane przez wytwórcę kotła jako paliwo podstawowe lub zastępcze, a dla kotłów prototypowych paliwo określone przez konstruktora. W przypadkach, w których dobór paliwa dla badanego

kotła wchodzi w zakres badań wg 4.2, doboru paliwa dokonuje badający na podstawie badań wstępnych.

4.4.2. Paliwa stałe powinny być zabezpieczone w czasie składowania przed opadami atmosferycznymi. Paliwo do badań należy pobierać w ilości o około 30% większej niż przewidywane zużycie paliwa do badań. Pobraną porcję paliwa należy przed zasypaniem do kotła dokładnie przemieszać.

4.4.3. Paliwa ciekłe powinny być składowane w zbiorniku w ilości wystarczającej do przeprowadzenia co najmniej jednego pomiaru. Przed doprowadzeniem do paleniska, paliwo powinno być dokładnie wymieszane.

4.4.4. Paliwo gazowe — wg PN-82/C-96000, PN-71/C-96001, BN-74/0543-15.

4.5. Warunki badań

4.5.1. Powierzchnia ogrzewalna kotła przed każdym pomiarem powinna być dokładnie oczyszczona.

4.5.2. Równowaga cieplna kotła

4.5.2.1. Równowaga cieplna kotła z okresowym ręcznym zasypem paliwa. Przebieg procesu spalania w kotłach z okresowym ręcznym zasypem paliwa ma charakter cykliczny. Przebieg procesu należy prowadzić w ten sposób, że po rozpaleniu i uzyskaniu warstwy zapłonowej żaru na ruszcie należy zasypać porcją paliwa umożliwiającą uzyskanie właściwego ciągu i żądanej mocy kotła. Okres pracy kotła z żadaną mocą powinien wynosić co najmniej jedną godzinę. Następnie po odpopieleniu i odżużleniu warstwy zapłonowej żaru na ruszcie należy zasypać porcję paliwa przewidzianą dla całego cyklu. Cykl spalania obejmuje okres od zasypu do czasu, w którym zasypane paliwo wypali się, a na ruszcie pozostanie jedynie warstwa żaru zapłonowego. Odpopielenie paleniska należy wykonać wtedy, gdy następuje wyraźny spadek mocy kotła, a grubość warstwy pozostałego na ruszcie paliwa odpowiada w przybliżeniu grubości warstwy zapłonowej. Koniec cyklu następuje po odpopieleniu i odżużleniu warstwy żaru zapłonowego. Przebieg cyklu spalania w kotłach z ręcznym zasypem paliwa obrazuje rys. 1.

Przy cyklicznej pracy kotła ustalenie jego równowagi cieplnej w układzie pomiarowym sprowadza się do:

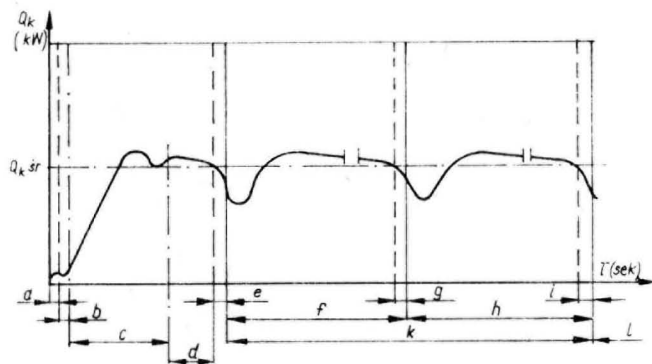
a) ustalenia ilości odbieranego ciepła wytworzonego w kotle na poziomie odpowiadającym średniej badanej mocy kotła,

b) ustalenia warunków spalania w kotle (głównie wartości ciśnienia spalin) w ten sposób, aby osiągnięta została założona dla danego badania moc kotła.

4.5.2.2. Równowaga cieplna kotła z ciągłym zasilaniem paliwem. Ustalenie warunków równowagi cieplnej kotłów z ciągłym doprowadzeniem paliwa sprowadza się do:

a) ustalenia ilości odbieranego ciepła wytworzonego w kotle na poziomie odpowiadającym badanej mocy kotła,

b) ustalenia warunków spalania w kotle w ten sposób, aby osiągnięta została założona dla danego badania moc kotła.



[BN-86/1317-02]

Przebieg cyklu spalania w kotłach z ręcznym okresowym zasypem paliwa

a — rozpalenie kotła, *b* — zasyp paliwa w ilości niezbędnej do osiągnięcia założonej mocy kotła i wymaganego ciągu, *c* — okres niezbędny do uzyskania właściwego ciągu i osiągnięcia założonej mocy kotła, *d* — okres pracy przy założonej mocy (około jednej godziny), *e*, *g*, *i* — odpopielenie, *k* — czas badania przy dwóch cyklach badania, $Q_{k, sr}$ — średnia wartość mocy kotła o cyklicznym spalaniu; wyznacza się z wykresu przez planimetrowanie lub jako średnią arytmetyczną chwilowych mocy w czasie trwania badań

4.5.3. Częstotliwość odczytów wskazań przyrządów pomiarowych. Wskazania przyrządów pomiarowych powinny być rejestrowane w sposób ciągły lub okresowy z częstotliwością pozwalającą na określenie charakteru zmian badanego parametru.

Odczyty poszczególnych przyrządów pomiarowych należy wykonać w odstępach czasu nie dłuższych niż 5 min.

Dopuszcza się jedynie wykonywanie analiz spalin aparatem Orsata co 15 min.

4.5.4. Przebieg procesu spalania. Proces spalania paliwa powinien zapewniać optymalne warunki pracy kotła z uwzględnieniem dopuszczalnych wartości ciśnienia i temperatury spalin za kotłem.

4.5.5. Czas trwania badań powinien być dostatecznie długi dla osiągnięcia wymaganej dokładności pomiarów. Dla kotłów o cyklicznym spalaniu powinien obejmować taką liczbę cykli spalania, aby uzyskać wymaganą zgodnie z 4.7.2.1a) dokładność pomiarów, z tym że liczba cykli przy badaniu kotła pracującego mocą nominalną i większą nie może być mniejsza niż dwa.

Czas trwania badania kotłów o ciągłym zasilaniu paliwem ciekłym lub gazowym powinien być taki, aby możliwe było wykonanie niezbędnych odczytów i kontroli przyrządów pomiarowych.

Dopuszcza się przy tym badania krótkotrwałe w czasie od około 15 do 60 min pod warunkiem, że dwie kolejne próby wykażą zgodność osiągniętych wyników z dokładnością do 0,5 punktu sprawności cieplnej kotła. W przypadku braku takiej zgodności, próby należy powtórzyć. Czas trwania badań kotłów z doprowadzeniem ciągłym paliwa stałego powinien wynosić nie mniej niż 9 h.

4.5.6. Parametry pracy kotłów

4.5.6.1. Parametry pracy kotłów wodnych. Średnia wartość temperatury wody na odpływie z kotła w czasie badań przy mocy nominalnej i największej powinna wynosić:

- dla kotłów niskotemperaturowych $75 \div 90^{\circ}\text{C}$,
- dla kotłów średniotemperaturowych $90 \div 115^{\circ}\text{C}$.

Średnia wartość przyrostu temperatury wody w kotle przy badaniach powinna wynosić:

- dla kotłów niskotemperaturowych $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$,
- dla kotłów średniotemperaturowych $45 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

W czasie badań kotłów przy mocach niższych od nominalnej dopuszcza się przeprowadzenie prób przy niższych wartościach przyrostu temperatury wody z zachowaniem warunku, że temperatura na dopływie do kotła nie będzie niższa niż 40°C .

4.5.6.2. Parametry pracy kotłów parowych. Przy badaniach kotłów parowych średnia wartość ciśnienia pary na odpływie z kotła powinna wynosić $0,11 \div 0,17$ MPa.

Temperatura kondensatu zasilającego kocioł powinna wynosić $30 \div 70^{\circ}\text{C}$.

4.6. Sposób prowadzenia badań

4.6.1. Badania wstępne obejmują:

- a) regulację urządzeń stanowiska badawczego i sprawdzenie wskazań przyrządów pomiarowych,
- b) ustalenie optymalnych warunków pracy badanego kotła w całym zakresie mocy kotła przewidzianych programem badań.

Zasadniczym celem pomiarów wstępnych jest określenie zasad regulacji mocy kotła przy zachowaniu optymalnych warunków spalania. Ocenę warunków spalania wykonuje się w sposób analityczny na podstawie oceny wyników analizy spalin za kotłem i ich temperatury (określenie nadmiaru powietrza, zawartości CO , CO_2 oraz temperatury spalin). Przy kotłach na paliwo ciekłe i gazowe pomiary wstępne obejmują regulację palników. Regulacji tej dokonuje się przy wyłączonych regulatorach temperatury (kotły wodne) oraz ciśnienia (kotły parowe). Wyniki badań wstępnych powinny obejmować dane dotyczące pracy kotła przy różnych jego obciążeniach cieplnych, np.: zapotrzebowanie ciągu, przybliżony skład chemiczny spalin oraz przybliżona wartość temperatury spalin za kotłem, sposób ustalenia przepustnicy spalin, przepustnicy powietrza (przy paliwach stałych — grubości warstwy spalanego paliwa, przy paliwach ciekłych i gazowych — ustalenie elementów regulujących pracę palników). Badania należy prowadzić przy wyłączonej automatyce tak, aby regulatory nie mogły powodować wyłączenia palników.

W przypadkach, w których przewiduje to program badań, badania wstępne mogą obejmować określenie innych danych związanych z pracą kotła, np. rodzaj lub sortyment paliwa.

Wyniki badań wstępnych stanowią dane wyjściowe do pomiarów bilansowych.

4.6.2. Badania bilansowe

4.6.2.1. Badania kotła z ręcznym okresowym doprowadzeniem paliwa stałego należy rozpoczynać bezpośrednio po narzuceniu paliwa. Paliwo do paleniska nale-

ży narzucić do wysokości podanej przez producenta lub konstruktora. Warstwa paliwa powinna być wyrównana, a wysokość napełnienia zmierzona. Masę narzuconego paliwa należy określić jako różnicę masy paliwa nagromadzonego przed narzuceniem i pozostałego po narzuceniu. Po upływie czasu badania, określonego na podstawie mocy, z jaką pracuje kocioł, średniej sprawności oraz wartości opałowej, należy z wyjątkiem palenisk z odpowieniem samoczynnym, dokonać odpowienia i odżuzlenia paleniska oraz wyrównać warstwę zapłonową (koniec cyklu spalania). Następnie należy ponownie narzucić paliwo do ustalonej uprzednio wysokości i ponownie określić masę narzuconego paliwa.

4.6.2.2. Badania kotła z ciągłym doprowadzaniem paliwa stałego należy rozpoczynać i kończyć przy napełnionym całkowicie zasobniku paliwa. Określenie ilości spalanego paliwa — wg 4.6.2.1.

Dopuszcza się, w przypadkach uzasadnionych, rozpoczęcie i kończenie pomiarów przy zasobniku paliwa wypełnionym w pewnym ściśle określonym stopniu. Pomiar rozpoczyna się po ustaleniu warunków równowagi cieplnej określonych w 4.5.2.1 i 4.5.2.2.

Zakończenie pomiaru stanowi moment napełnienia zasobnika paliwa do poziomu wyjściowego po upływie wymaganego czasu badań wg 4.5.5.

4.6.2.3. Badania kotła opalanego paliwem ciekłym lub gazowym należy rozpoczynać po ustaleniu warunków równowagi cieplnej i ustawieniu pracy palnika na żadaną wydajność cieplną, określoną na podstawie przewidywanej sprawności cieplnej kotła i wartości opałowej paliwa. W czasie trwania badania nie należy wykonywać żadnych zmian w ustawieniu palnika i elementów regulacyjnych kotła (ustawienie przepustnicy spalin, przepustnicy powietrza itp.). Automatyczne urządzenie zabezpieczające (np. urządzenie wyłączające palnik w przypadku zgaśnięcia płomienia lub spadku ciśnienia gazu) powinny pozostać włączone.

W przypadku zadziałania urządzeń zabezpieczających i wyłączenia palnika w czasie badania, należy badanie powtórzyć.

Czas prowadzenia badań musi być zgodny z wymaganiami wg 4.5.4.

4.7. Przyrządy pomiarowe i metody pomiarów

4.7.1. Przyrządy pomiarowe. Do badań cieplnych należy stosować przyrządy pomiarowe zapewniające wymaganą dokładność wskazań. O przydatności decyduje końcowy błąd wyznaczania sprawności kotła (f_n), który nie powinien przekraczać wartości ± 2 punktu sprawności. Wszystkie przyrządy pomiarowe używane podczas badań powinny być przed badaniami sprawdzone i legalizowane. W przypadkach wątpliwych użyte przyrządy pomiarowe należy sprawdzić po badaniach (np. gdy przy ustalonej równowadze cieplnej kotła wystąpią nieuzasadnione różnice wskazań przyrządów pomiarowych). Przyrządy pomiarowe podlegające urzędowej legalizacji z naniesionymi ważnymi cechami nie wymagają dodatkowego sprawdzania, jeżeli nie stwierdzono ich uszkodzeń. W przypadkach wątpliwych przyrządy te powinny być sprawdzone przez jednostkę uprawnioną.

Do badań należy używać przyrządów o właściwym zakresie pomiarowym. Przed przystąpieniem do pomiaru należy sprawdzić układy połączeń i położenia zerowe zainstalowanych przyrządów. Przyrządy samopiszące (rejestrujące) mogą być stosowane przy pomiarach podobnie jak wskazujące, jeżeli przyrządy te umożliwiają osiągnięcie wymaganej dokładności pomiarów i usprawniają przebieg badań. Dotyczy to szczególnie pomiaru takich wartości, jak: temperatura lub różnica temperatur wody na odpływie i dopływie do kotła, ciąg, temperatura i skład chemiczny spalin za kotłem. Wskazania czasomierzy używanych przy badaniach i posuw taśm przyrządów samopiszących należy zsynchronizować i kontrolować w czasie badań.

4.7.2. Strumień masy cieczy, pary i powietrza można mierzyć bezpośrednio lub pośrednio. Wybór metody pomiaru uzależniony jest od rodzaju instalacji stanowiska pomiarowego, od ilości i rodzaju przepływającego w niej czynnika mierzzonego.

Pomiar strumienia masy cieczy metodą bezpośrednią powinien być wykonany za pomocą:

- a) wyskalowanych zbiorników pomiarowych o możliwie małej powierzchni lustra cieczy,
- b) zbiornika umieszczonego na wodzie,
- c) przepływomierzy objętościowych (np. tłokowych, bębnowych itp.), pod warunkiem, że ich błędy pomiarowe w wymaganym zakresie pomiarów nie przekraczają 0,5%. Dla umożliwienia przeliczenia strumienia objętości na strumień masy należy w zbiorniku dodatkowo mierzyć temperaturę cieczy. Do pomiaru strumienia masy metodą pośrednią, pomiar czasu należy wykonywać czasomierzem z dokładnością odczytu do 0,1 s. Przy większych ilościach przepływającej cieczy (gdy pomiar metodą bezpośrednią jest technicznie niemożliwy) strumień masy można mierzyć zwężkami normalnymi wg PN-65/M-53950 przy wykorzystaniu cieczowych manometrów różnicowych. W przypadkach koniecznych, należy zapewnić dokładne odwodnienie pary przed zwężką. W celu wyznaczenia gęstości pary wodnej, należy mierzyć ciśnienie i temperaturę pary możliwie blisko miejsca zainstalowania zwężki pomiarowej. Strumień objętości powietrza należy mierzyć zwężkami normalnymi wg PN-65/M-53950 lub rurkami spiętrzającymi.

4.7.3. Pomiar zużycia paliwa

4.7.3.1. Pomiar zużycia paliwa stałego. Do wyznaczenia sprawności kotła metodą bezpośrednią konieczne jest określenie masy zużytego podczas badań paliwa. Metoda ta może być wykorzystywana przy spalaniu paliw stałych w kotłach pod warunkiem, że błąd pomiaru nie przekroczy $\pm 1\%$.

Błąd pomiaru zużycia paliwa nie zostanie przekroczony, gdy:

- a) masa paliwa pozostająca w palenisku (konieczna do zapłonu i ewentualnie w zasobniku paliwa) nie będzie większa niż 10% masy paliwa zużytego w czasie trwania całego pomiaru,
- b) różnica w ocenie masy paliwa pozostającego w palenisku i ewentualnie w zasobniku paliwa na po-

czątku i na końcu pomiaru nie będzie większa niż 3% masy pozostającej przed rozpoczęciem pomiaru.

c) wagi użyte do pomiaru masy nie mogą przekraczać górnych granic błędu ważenia, które wynoszą:

— dla wag złożonych prostodźwigniowych odważnikowych, przesuwnikowych i włącznikowych $\pm 0,3\%$ ładunku.

— dla wag samoczynnych porcjowych i sumujących $\pm 0,25\%$ sumy masy odważonej w 10 porcjach,

— dla wag uchylnych $\pm 0,4\%$ udźwigu wagi.

Dla kotłów o ciągłym zasilaniu paliwem zawartość paliwa w zbiorniku zasilającym nie powinna przekraczać 10% całkowitej ilości paliwa spalane podczas okresu pomiarowego.

4.7.3.2. Pomiar zużycia paliwa ciekłego należy wykonywać w drodze pomiaru strumienia masy lub strumienia objętości.

Przy pomiarze strumienia masy paliwa przewód zasilający i powrotny palnika należy zanurzyć w zbiorniku paliwowym ustawionym na wadze tak, aby przewody nie dotykały wagi i zbiornika. Końcówki przewodów paliwowych muszą być wygięte poziomo lub zabezpieczone przed bezpośrednim oddziaływaniem strug przepływającego paliwa na dno zbiornika. Przy pomiarze strumienia objętości paliwa, należy stosować zbiorniki o możliwie małym przekroju w poziomie, zaopatrzone w szkła pomiarowe lub inne urządzenia pomiarowe gwarantujące pomiar z dokładnością $\pm 0,5\%$ ilości spalane podczas badań paliwa. Jednocześnie należy określić gęstość paliwa i jego temperaturę. Do pomiaru czasu przy określeniu natężeń przepływu paliw ciekłych należy używać czasomierza z dokładnością odczytu do 0,1 s.

4.7.3.3. Pomiar zużycia paliwa gazowego. Do pomiaru strumienia objętości paliw gazowych należy stosować gazomierze laboratoryjne mokre i suche. Jeżeli pomiar objętości spalane go gazu wykonywany jest za pomocą gazomierza suchego, to na wejściu do gazomierza musi być podłączone urządzenie do nawilżania gazu. W przypadku gdy gaz jest suchy lub znana jest jego wilgotność, nie należy stosować nawilżania gazu. Objętość zużytego gazu w warunkach normalnych należy przeliczać na m^3 . W tym celu należy również zmierzyć ciśnienie i temperaturę gazu w przewodzie wylotowym z gazomierza oraz ciśnienie i temperaturę otoczenia. Przy zużyciu paliwa przekraczającym $50 m^3/h$ mogą być stosowane przepływomierze zwężkowe wg PN-65/M-53950.

Do pomiaru czasu przy określeniu strumienia objętości paliw gazowych należy używać czasomierzy z dokładnością odczytu 0,1 s.

4.7.4. Jakość paliwa oznacza się na podstawie analiz z pobranych podczas pomiaru próbek paliwa.

Próbki paliwa należy pobierać wg:

PN-80/G-04502 — dla węgla kamiennego i brunatnego,

PN-74/C-02050/04 — dla koksu opałowego,

PN-66/C-04000 — dla paliw ciekłych.

Próbki paliw gazowych należy pobierać do aspiratora w sposób ciągły. Średnia objętość próbki z badania

powinna wynosić nie mniej niż 1 dm³. Pobrana próbka paliwa powinna odpowiadać średniej jakości paliwa zużytego w czasie badania. Przy badaniach, dla jednego pomiaru należy pobierać 2 oddzielne próbki paliwa, szczelnie je zamknąć i zabezpieczyć przed odparowaniem wilgoci. Drugą próbkę pozostawia się do ewentualnego sprawdzenia aż do czasu wykonania pełnych obliczeń cieplnych.

Oznaczanie jakości paliwa powinno obejmować kalorymetryczne oznaczenia ciepła spalania i wartości opałowej wg PN-81/G-04513 (dla paliw stałych) lub PN-71/C-94962 (dla paliw ciekłych) oraz analizę elementarną wg PN-73/G-04521 i PN-76/G-04514. Inne oznaczenia, jak ziarnistość paliwa, części lotne itp. należy określać w zależności od potrzeb. Wartość opałową i ciepło spalania paliwa gazowego należy oznaczyć metodą kalorymetryczną lub na podstawie składu chemicznego próbki.

4.7.5. Pomiar masy odpadów paleniskowych obejmuje:

- a) pomiar masy popiołu i paliwa przesypanyego się przez ruszty, gromadzonego w popielniku,
- b) pomiar masy żużla usuniętego podczas odżulania kotła.

Pomiar masy odpadów paleniskowych należy określić wagowo.

Jeżeli odpady paleniskowe są wygaszane wodą i wazone są w stanie mokrym, należy pobierać próbkę do oznaczania w niej zawartości wody w celu obliczenia masy suchych odpadów. Przy ważeniu odpadów paleniskowych i pobieraniu próbki w stanie mokrym należy odczekać aż odparuje nadmierna ilość wody z tej masy.

4.7.6. Oznaczanie zawartości części palnych w odpadach paleniskowych. Pobrane próbki odpadów paleniskowych powinny być reprezentatywne, tzn. odpowiadać średniej jakości odpadów paleniskowych. Żużel pobierany do próbek należy pokruszyć. Pobieranie próbek oraz określenie zawartości części palnych w odpadach paleniskowych wykonuje się jak dla paliw stałych.

4.7.7. Pomiar temperatur. Do pomiaru temperatur przy badaniach cieplnych należy stosować omówione niżej przyrządy.

Termometry szklane wg PN-80/M-53750. Termometry te należy zbudować w tulejkach cienkościennych z materiału o wysokim współczynniku przewodzenia, wypełnionych cieczą lub materiałem dobrze przewodzącym ciepło (opiłki miedzi, oleje mineralne itp.). W miarę możliwości należy je zbudować pionowo na zgięciach lub kolankach, tak aby uzyskać głębokość zanurzenia w ośrodku mierzonym, pozwalającą na uniknięcie stosowania poprawek na wystający słupek cieczy manometru. Przy odczytaniu wskazań termometru nie należy wyjmować go ze studzienki poza zakres skali konieczny do odczytania.

Termometry oporowe z czujnikiem oporowym w układzie mostka Wheatstone'a lub innym o zbliżonej dokładności pomiaru.

Termometry termoelektryczne z czujnikiem termometrycznym (termoparą) w układzie kompensacyjnym. Charakterystyki termostatyczne termoelementów należy

przyjmować wg PN-81/M-53854/00 ÷ 07. Czujniki termostatyczne należy zabezpieczyć przed dopływem lub odpływem ciepła z innych źródeł poza czynnikiem mierzonym. W koniecznych przypadkach izolowane termoelementy można umieszczać w tulejkach lub osłonach o małej średnicy i cienkich ściankach tak, aby wpływ odprowadzenia ciepła w punkcie pomiarowym i bezwładność wskazań wywołana złym przewodnictwem cieplnym między wypełnieniem i tuleją, mogły być możliwie małe.

Wybór przyrządów pomiarowych zależy od zakresu mierzonych temperatur, żądanej dokładności i czułości wskazań oraz możliwości zainstalowania przyrządów i wykonania odczytów. Do pomiaru temperatury powierzchni elementów kotła lub izolacji, należy używać czujników termostatycznych powierzchniowych ze wskaźnikami zapewniającymi dokładność pomiaru $\pm 5\%$. Ze względu na dopuszczalne granice błędów wyznaczania poszczególnych pozycji bilansu cieplnego przyrządy do pomiaru temperatur należy dobierać tak, aby błąd odczytu nie przekraczał:

- $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ — dla wody dopływającej do kotła lub odpływającej z kotła,
- $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ — dla pary odpływającej z kotła,
- $\pm 2^{\circ}\text{C}$ — dla spalin za kotłem,
- $\pm 1^{\circ}\text{C}$ — dla powietrza.

Przy pomiarach temperatur spalin lub powietrza w przewodach o dużych przekrojach należy uprzednio sprawdzić ewentualne różnice temperatur występujące w danym przekroju. Jeżeli różnice te nie przekraczają 5°C , pomiar można wykonać jednym termometrem umieszczonym w kanale. W przypadku stwierdzenia różnic temperatur powyżej 5°C należy w odcinku pomiarowym umieścić 5 termometrów oporowych i wyznaczyć temperaturę jako średnią pomiaru we wszystkich tych punktach.

4.7.8. Pomiar ciśnień. Do pomiaru ciśnień należy stosować następujące manometry:

a) do pomiarów ciśnień różnych czynników w zakresie poniżej 0,35 kPa — manometry lub wakuometry hydrostatyczne (cieczowe) U-rurkowe,

b) do pomiaru ciśnień pary, wody lub powietrza o zakresie powyżej 0,35 kPa — precyzyjne manometry sprężynowe rurkowe (z tzw. rurką Bourdona), do pomiarów ciśnień mających zasadniczy wpływ na dokładność wyznaczonej wartości (np. do określenia gęstości czynnika przy pomiarach strumienia masy lub objętości) należy stosować manometry kontrolne z dwiema rurkami prężnymi i dwoma oddzielnymi wskaźnikami; manometry te wymagają zabezpieczenia przed drganiami, a w przypadku pomiaru pary lub wody gorącej muszą być wyposażone w rurki syfonowe,

c) do pomiaru bardzo małych ciśnień różnych czynników (np. do pomiaru ciśnienia spalin) — mikromanometry z pionową lub pochyłą rurką (np. mikromanometry Krella, Recknagla),

d) do pomiaru ciśnienia atmosferycznego — barometry cieczowe laboratoryjne lub barografy.

Jako najwyższą dopuszczalną wielkość błędów pomiarowego przyjmuje się przy wartościach mierzonych

ciśnien do 50 Pa $\pm 3\%$, a przy wyższych wartościach $\pm 2\%$ wartości mierzonych.

4.7.9. Analiza chemiczna spalin. Próbkę spalin do analizy chemicznej należy pobierać z odcinka pomiarowego przez filtr z waty szklanej i filtr wodny, w celu oczyszczenia ich z części stałych i schłodzenia do temperatury otoczenia. Poprawność działania analizatorów samopiszących w czasie badań należy kontrolować za pomocą aparatu Orsata. Samopiszące analizatory spalin należy uruchomić przed pomiarami na okres konieczny dla sprawdzania poprawności działania i zapisu. Analiza spalin może być prowadzona także za pomocą aparatu Orsata z ciągłym zasysaniem spalin do aspiratora. Zasysanie próbki z aspiratora i analizę spalin należy powtarzać co 30 min. Dla określenia zawartości CO i CO₂ w spalinach można również używać specjalnych czujników lub mierników np. pompek Dreagera. Przy kotłach opalanych olejem należy określać zawartość sadzy w spalinach, używając do tego celu aparatu Bacharacha lub innego podobnej jakości.

4.7.10. Analiza chemiczna wody nie wchodzi w zakres badań cieplnych kotłów grzewczych. Jeżeli warunki pracy w czasie badań cieplnych wymagają kontroli jakości wody, konieczne analizy wykonać należy wg: PN-74/C-04540, PN-74/C-04558, PN-72/C-04559, PN-71/C-04583, PN-73/C-04586.

4.7.11. Pomiar wilgotności pary¹⁾ może być wykonany niżej omówionymi metodami.

a) Metoda Grena (przy zawartości wilgoci powyżej 6%) polegająca na zmierzeniu masy i temperatury wody w dobrze izolowanym naczyniu przed i po pobraniu próbek (przez okres 30 ÷ 60 s).

Wilgotność pary 1-x oblicza się wg wzoru

$$1 - x = \left(1 - \frac{i - i'}{r_1}\right) \cdot 100 \quad (1)$$

w którym

$$i = \frac{G_4 t_2 - G_3 t_1}{G_4 - G_3} c_w \quad (2)$$

b) Metoda pośrednia polegająca na pomiarze konduktometrycznym zawartości soli w parze i wodzie, z której ta para powstała.

W tym celu należy jednocześnie pobrać próbkę pary zgodnie z PN-74/C-04621 oraz próbki wody (spod zwierciadła wody w kotle), schłodzić obie próbki do temperatury 20°C i określić w nich mostkiem przewodnościowym zawartość soli zgodnie z PN-77/C-04542. Iloraz zawartości soli w próbce pary (kondensatu) do zawartości soli w próbce wody wyznacza stopień zawartości wilgoci w parze.

4.7.12. Pomiar wielkości elektrycznych. Do pomiaru wielkości elektrycznych (napięcia, natężenia i mocy) używać należy laboratoryjnych mierników (woltomierzy, amperomierzy, aronmierzy lub liczników energii elektrycznej) klasy 1,5.

5. OBLICZENIA CIEPLNE BILANSOWE

5.1. Przygotowanie wyników pomiarów do obliczeń. Obliczenia¹⁾ przeprowadza się na podstawie wyników pomiarów zarejestrowanych na kartkach pomiarowych lub na taśmach urządzeń samopiszących. Należy uwzględnić tylko te pomiary, które były przeprowadzone zgodnie z warunkami rozdz. 4 niniejszej normy. Z zarejestrowanych odczytów chwilowych wskazań wielkości mierzonych, należy obliczyć wielkości średnie arytmetyczne dla całego okresu pomiaru. Przy urządzeniach samopiszących wielkości średnie otrzymuje się za pomocą planimetrowania pól i dzielenia ich przez współzrzedną czasu.

5.2. Moc doprowadzona do kotła z paliwem

5.2.1. Moc całkowita doprowadzona do kotła. Całkowitą moc Q wyraża wzór

$$Q = Q_{ch} + Q_{pal} + Q_{pow} \quad (3)$$

W przypadku małych wartości Q_{pal} i Q_{pow} , składniki te należy pominąć i moc Q oblicza się wg wzoru

$$Q = Q_{ch} \quad (4)$$

5.5.2. Moc zawarta w składnikach palnych paliwa. Dla paliw ciekłych i stałych moc Q_{ch} oblicza się wg wzoru

$$Q_{ch} = BW_d \quad (5)$$

Dla paliw gazowych moc Q_{ch} oblicza się wg wzoru

$$Q_{ch} = V_0 W_d \quad (6)$$

w którym:

$$V_0 = V \cdot \frac{t_n + 273}{t_R + 273} \cdot \frac{p_b + p_R - p_w}{p_n} \quad (7)$$

5.2.3. Moc cieplna doprowadzona do kotła z paliwem podgrzanym. Dla paliw stałych i płynnych moc Q_{pal} oblicza się wg wzoru

$$Q_{pal} = Bc_{pal}(t_{pal} - t_0) \quad (8)$$

Dla paliw gazowych moc Q_{pal} oblicza się wg wzoru

$$Q_{pal} = V_0 c_{pal}(t_{pal} - t_0) \quad (9)$$

5.2.4. Moc cieplna dostarczona do kotła z powietrzem. Dla paliw stałych i płynnych Q_{pow} oblicza się wg wzoru

$$Q_{pow} = nL_p Bc_{p\ pow}(t_{pow} + t_0) \quad (10)$$

Dla paliw gazowych moc Q_{pow} oblicza się wg wzoru

$$Q_{pow} = nL_p V_0 c_{p\ pow}(t_{pow} - t_0) \quad (11)$$

5.3. Moc kotła

5.3.1. Moc kotła wodnego obliczona na podstawie przyrostu temperatury wody przepływającej przez kocioł wg wzoru

$$Q_k = G_1 c_w (t_{k1} - t_{p1}) \quad (12)$$

Przy wykonywaniu pomiarów na stanowisku z obiegiem wodnym, w którym woda obiegowa na wejściu do kotła jest mieszana z wodą doprowadzoną do obiegu, za t_{p1} należy przyjmować temperaturę wody doprowadzonej do obiegu, a za G_1 strumień masy wody odprowadzonej z obiegu.

5.3.2. Moc kotła wodnego lub parowego obliczana na podstawie pomiarów przyrostu temperatury wody chłodzącej przepływającej przez wymiennik ciepła wg wzoru

$$Q_k = G_2 c_w (t_{k2} - t_{p2}) + Q_R \quad (13)$$

5.3.3. Moc kotła parowego obliczana na podstawie pomiarów ciśnienia i wilgotności pary oraz ilości wody doprowadzonej do kotła wg wzoru

¹⁾ Symbole i jednostki miar użyte we wzorach — wg tabl. 1.

$$Q_k = G_{x_{\text{pow}}} i'' + i'(1 - x) - i_w \quad (14)$$

5.4. Straty ciepła

5.4.1. Strata kominowa. Stratę kominową wyraża w stosunku procentowym ta część energii cieplnej paliwa, która jest unoszona przez spaliny do kominu na skutek określonej, wyższej od otoczenia, temperatury spalin. Energia stracona w spalinach jest zwykle wykorzystywana do wytwarzania ciągu kominowego i pokonywania oporów aerodynamicznych w kanałach spalinowych kotła, czopucha i kominu, jednak w bilansie cieplnym liczona jest całkowicie po stronie strat.

Stratę S_k wyraża wzór

$$S_k = \frac{V_{\text{spal}} c_{p, \text{spal}} (t_{\text{spal}} - t_0)}{W_d + c_{\text{pal}} (t_{\text{pal}} - t_0) + L c_{p, \text{pow}} (t_{\text{pow}} - t_0)} \cdot 100 \quad (15)$$

Jeżeli powietrze doprowadzone jest do kotła w temperaturze otoczenia, paliwo nie jest podgrzane lub też podgrzane nieznacznie (tylko do temperatury umożliwiającej pracę palników i układu zasilającego paliwem palnik) wtedy wzór (14) upraszcza się i stratę S_k oblicza się wg wzoru

$$S_k = \frac{V_{\text{spal}} c_{p, \text{spal}} (t_{\text{spal}} - t_0)}{W_d} \cdot 100 \quad (16)$$

w którym:

$$V_{\text{spal}} \cdot c_{p, \text{spal}} = V_{\text{v, spal}} \cdot c_{p, \text{spal}} + (n - 1) L_i c_{p, \text{pow}} + \frac{c_{p, w}}{100} (w_{\text{spal}} V_{m, \text{spal}} + n w_{\text{pow}} L_i + v_{\text{H}_2\text{O}} w_{\text{pal}}) \quad (17)$$

w którym:

$$w_{\text{pow}} = x_{\text{pow}} \frac{v_{\text{par}}}{v_{\text{pow}}} \quad (18)$$

Obliczanie straty kominowej wg wzorów (14) ÷ (17) jest wymagane przy obliczaniu sprawności metodą pośrednią. Przy obliczaniu metodą bezpośrednią, stratę kominową w procentach można obliczyć stosując uproszczony wzór Siegerta:

przy $[\text{CO}]_{\text{wzecz}} \leq 0,3\%$

$$S_k = \alpha \frac{t_{\text{spal}} - t_0}{[\text{CO}_2]_{\text{wzecz}}} \quad (19)$$

przy $[\text{CO}]_{\text{wzecz}} > 0,3\%$

$$S_k = \alpha \frac{(t_{\text{spal}} - t_0) + 0,59[\text{CO}]_{\text{wzecz}}}{[\text{CO}_2 + \text{CO}]_{\text{wzecz}}} \quad (20)$$

w których α — współczynnik zależny od rodzaju paliwa, zawartości wilgoci w paliwie i zawartości bezwodnika węglowego w spalinach.

5.4.2. Strata niepełnego spalania. Obecność w spalinach tlenu węgla świadczy o niepełnym spalaniu węgla i stratach S_{CO} obliczanych wg wzoru

$$S_{\text{CO}} = [\text{CO}]_{\text{wzecz}} V_{\text{spal}} \frac{12450}{W_d} \quad (21)$$

w którym 12450 — wartość opałowa tlenu węgla, kJ/m³.

5.4.3. Strata niecałkowitego spalania. Stratę S_p oblicza się wg wzoru

$$S_p = \frac{33220 G_p b}{B W_d} \quad (22)$$

w którym 33220 — wartość opałowa części palnych, kJ/kg.

Jeżeli istnieje możliwość określenia wartości opałowej żużla i popiołu metodą kalorymetryczną, wtedy stratę S_p należy obliczyć wg wzoru

$$S_p = \frac{G_p W_{dp}}{B W_d} \cdot 100 \quad (23)$$

Jeżeli ilość paliwa i pozostałość po spalaniu nie zostały zważone, to można stratę S_p obliczyć wg wzoru

$$S_p = \frac{A_p b 33220}{(100 - b) W_d} \quad (24)$$

5.4.4. Strata ciepła do otoczenia. Przy bezpośredniej metodzie obliczania sprawności kotła znajomość tej straty nie jest konieczna. Można ją określić jako uzupełnienie do 100 wartości powstałej z dodania straty kominowej, niepełnego spalania, niecałkowitego spalania i sprawności cieplnej kotła. Przy stosowaniu pośredniej metody obliczania sprawności, w celu obliczenia tej straty należy zmierzyć temperaturę powierzchni zewnętrznej kotła w ustalonych polach o podobnych temperaturach (oddzielnie powierzchnie izolowane, drzwiczki, przewody łączące, fundamenty kotła).

Na podstawie zmierzonych średnich temperatur oblicza się ilość ciepła Q_x traconego w ciągu jednostki czasu przez zewnętrzną powierzchnię kotła F_x wg wzoru

$$Q_x = F_x \alpha_x (t_x + t_0) \quad (25)$$

Przyjmuje się następujące przybliżenie wartości współczynnika strat ciepłych α_x :

— części kotła pionowe przy $t_x \leq 50^\circ\text{C}$

$$\alpha_x = 9 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C},$$

— części kotła pionowe przy $t_x \geq 120^\circ\text{C}$

$$\alpha_x = 13 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C},$$

— części kotła poziome przy $t_x \leq 50^\circ\text{C}$

$$\alpha_x = 11 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C},$$

— części kotła poziome przy $t_x \geq 120^\circ\text{C}$

$$\alpha_x = 15 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

Dla pośrednich wartości temperatury t_x należy α_x interpolować liniowo.

Stratę S_{pr} oblicza się wg wzoru

$$S_{pr} = \frac{\sum Q_x}{Q} \cdot 100 \quad (26)$$

w którym:

$$Q = \frac{Q_k}{1 - \left(\frac{S_k}{100} + \frac{S_{\text{co}}}{100} + \frac{S_p}{100} + \frac{S_{pr}}{100} \right)} \quad (27)$$

Występują ponadto jeszcze straty spowodowane obecnością sadzy w spalinach, niespalonych części paliwa w popiele lotnym i koksikiem oraz wysoką temperaturą odprowadzanego z kotła popiołu i żużla. Straty te w kotłach grzewczych są małe i nie uwzględnia się ich w obliczeniach.

5.5. Sprawność cieplna kotła. Sprawność cieplną kotła należy obliczyć metodą bezpośrednią wg wzoru

$$\eta = \frac{Q_k}{Q} \cdot 100 \quad (28)$$

Sprawność cieplną kotła η można obliczyć metodą pośrednią wg wzoru

$$\eta = 100 - (S_k + S_{co} + S_p + S_{pr}) \quad (29)$$

5.6. Bilans cieplny kotła. Bilans sprawności cieplnej kotła i poszczególnych strat wyrażonych w procentach określa wzór

$$100 = \eta + S_k + S_{co} + S_p + S_{pr} \quad (30)$$

5.7. Współczynnik nadmiaru powietrza n oblicza się wg wzoru

$$n = 1 + \left[\frac{[\text{CO}_2]_{\max}}{[\text{CO}_2 + \text{CO}]_{\text{rzecz}}} - 1 \right] \cdot \frac{V_{\text{y spal}}}{L_t} \quad (31)$$

W spalinach zawierających siarkę wielkość $[\text{CO}_2]_{\max}$ należy liczyć jako sumę CO_2 i SO_2 .

5.8. Względne obciążenie (mocy) kotła q_k oblicza się wg wzoru

$$q_k = \frac{Q_k}{Q_N} \cdot 100 \quad (32)$$

5.9. Natężenie powierzchni ogrzewalnej kotła q oblicza się wg wzoru

$$q = \frac{Q_N}{F} \quad (33)$$

5.10. Natężenie cieplne rusztu q_{cr} oblicza się wg wzoru

$$q_{cr} = \frac{BW_d \eta_p}{100 f_r} \quad (34)$$

w którym

$$\eta_p = 100 - (S_p + S_{co}) \quad (35)$$

5.11. Natężenie masowe rusztu q_{mr} oblicza się wg wzoru

$$q_{mr} = \frac{B}{f_r} \quad (36)$$

6. WYZNACZANIE BŁĘDÓW

6.1. Zasady ogólne. Wartość błędu określa różnica między wartością rzeczywistą wielkości i jej wartością mierzoną lub obliczoną (wyznaczoną), wyrażoną w procentach lub jednostkach miar. Błędy systematyczne pomiarów powinny być wyeliminowane już podczas pomiarów, np. przez uwzględnienie odpowiednich poprawek. Poniżej podane są metody wyznaczania błędów przypadkowych, których nie można wyeliminować.

W niektórych przypadkach podano wielkości szacunkowe tych błędów, ustalone na podstawie praktyki pomiarowej.

6.2. Błędy przy wyznaczaniu sprawności kotła metodą bezpośrednią

6.2.1. Błąd pomiaru zużycia paliwa f_1 należy określić:

- przy pomiarze paliwa stałego wg 4.7.2.1,
- przy pomiarze paliwa ciekłego za pomocą zbiornika cechowanego wg wzoru

$$f_1 = \pm \frac{\sqrt{2m} \cdot \Delta s}{V_c} \cdot 100 \quad (37)$$

- przy pomiarze paliwa gazowego za pomocą zwęzek normalnych

f_1 należy obliczyć wg PN-65/M-53950, a za pomocą gazomierza

$f_1 = \pm 2\%$ lub jest równy błędowi ustalonymu przy cechowaniu gazomierza.

6.2.2. Błąd wyznaczania jakości paliwa f_2 oblicza się wg wzoru

$$f_2 = \pm \sqrt{f_3^2 + f_4^2} \quad (38)$$

6.2.3. Błąd pobierania próbki paliwa f_3 , w zależności od zawartości popiołu w paliwie, wyznacza się następująco:

- dla koksu, węgla kamiennego, brykietów i pyłu z węgla brunatnego oblicza się wg wzoru

$$f_3 = \pm \frac{1}{\sqrt{k}} \cdot 0,1 A_p \quad (39)$$

jednak nie mniej niż $\pm \frac{0,5}{\sqrt{y}}$

- dla węgla brunatnego z zawartością popiołu poniżej 5% oblicza się wg wzoru

$$f_3 = \pm \frac{3}{\sqrt{y}} \quad (40)$$

- dla węgla brunatnego z zawartością popiołu powyżej 5%

$$f_3 = \pm \frac{1}{\sqrt{x}} (2,5 + 0,1 A_p) \quad (41)$$

- dla paliw ciekłych i gazowych $f_3 = 0\%$ pod warunkiem, że w czasie trwania pomiarów próbki pobierane są zgodnie z 4.7.3.

Dla paliw o dużej zawartości popiołu i wilgoci, w celu zmniejszenia wartości błędu f_3 , zaleca się pobieranie możliwie dużej liczby próbek pierwotnych.

6.2.4. Błąd wyznaczania wartości opałowej f_4 . Dla paliw stałych, ciekłych i gazowych błąd f_4 wyznacza się ze wzoru

$$f_4 = \pm \frac{1}{\sqrt{y}} \left(1 + \frac{12500}{W_d} \right) \quad (42)$$

6.2.5. Błąd pomiaru strumienia masy czynnika grzewczego (ciecz, para wodna, powietrze) f_5 należy wyznaczać w następujący sposób:

- przy pomiarze przepływu cieczy za pomocą zbiornika cechowanego należy obliczyć wg wzoru

$$f_5 = \pm \frac{\sqrt{2m} \cdot \Delta s}{V_c} \cdot 100 \quad (43)$$

- przy pomiarze zwęzkami normalnymi przepływu cieczy, pary, powietrza wg PN-65/M-53950,

- przy pomiarze przepływu cieczy przez ważenie — zgodnie z błędami ważenia podanymi w 4.6.2.

- przy pomiarze cieczy przepływomierzami objętościowymi i pomiarze powietrza rurkami spiętrzającymi — zgodnie z błędami wzorcowania, wg instrukcji obsługi przyrządów.

6.2.6. Błąd wyznaczania ilości ciepła przejętego przez 1 kg czynnika f_6 należy określić w następujący sposób:

- błąd wyznaczania różnicy entalpii pary i wody wynosi $f_6 = \pm 0,5\%$; błąd ten nie zostanie przekroczony pod warunkiem, że ciśnienie pary mierzono z dokładnością $\pm 1\%$ mierzonego ciśnienia absolutnego, a temperaturę mierzono z dokładnością $\pm 0,5\%$;

— temperatura wody odpływającej nie przekracza 70% temperatury nasycenia przy danym ciśnieniu,

b) błąd wyznaczania różnicy temperatury wody na wyjściu i wejściu do kotła oblicza się wg wzoru

$$f_6 = \pm \frac{\sqrt{2} \cdot \Delta t}{\Delta t_n} \cdot 100 \quad (44)$$

6.2.7. Błąd dodatkowy bezpośredniej metody wyznaczania sprawności (f_7) należy określać w następujący sposób:

a) dla kotłów z rusztami mechanicznymi należy przyjmować wg tabl. 2.

Tablica 2

Czas trwania badania	Błąd f_7 dla kotłów pracujących z mocą		
	$0,5Q_N$	$0,8Q_N$	Q_N
h		%	
8 lub więcej	$\pm 1,0$	$\pm 0,7$	$\pm 0,5$
6	$\pm 1,3$	$\pm 1,0$	$\pm 0,7$
4 lub mniej	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$	$\pm 1,0$

W przedziałach czasu badań $8 \div 6$ h oraz $6 \div 4$ h należy stosować interpolację liniową.

b) dla kotłów z rusztem stałym błąd f_7 jest równy 1,5-krotnej wartości podanych w poz. a).

c) dla kotłów na paliwa ciekłe i gazowe błąd f_7 jest równy połowie wartości podanych w poz. a).

6.2.8. Całkowity błąd wyznaczania sprawności kotła f_η metodą bezpośrednią

$$f_\eta = \pm \sqrt{f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + f_4^2 + f_7^2} \quad (45)$$

Różnica sprawności spowodowana błędem f_η

$$\Delta \eta = \pm \frac{\eta f_\eta}{100} \quad (46)$$

6.3. Błędy przy wyznaczaniu sprawności kotła metodą pośrednią

6.3.1. Błąd wyznaczania straty wylotowej (f_8)

$$f_8 = \pm \sqrt{f_{(CO_2 + CO)}^2 + f_{t_r}^2 + 3^2} \quad (47)$$

w którym:

$f_{(CO_2 + CO)}$ — błąd wyznaczania zawartości CO_2 i CO w spalinach,

$$f_{(CO_2 + CO)} = \pm \frac{0,8}{[CO_2 + CO]_{recz}} \cdot 100 \quad (48)$$

pod warunkiem, że błąd odczytu nie przekracza $\pm 0,1\%$,

f_{t_r} — błąd pomiaru temperatury spalin i temperatury otoczenia,

$$f_{t_r} = \pm \frac{10}{t_{spal} - t_0} \cdot 100 \quad (49)$$

Składnik 3^2 we wzorze (47) uwzględnia uproszczenie metody obliczania błędu.

6.3.2. Błąd wyznaczania straty niepełnego spalania (f_9)

$$f_9 = \pm 30\%$$

6.3.3. Błąd wyznaczania straty niedopału w odpadach paleniskowych (f_{10}) składa się z błędu pobierania próbek f_p i błędu oznaczania zawartości części palnych f_{cz}

$$f_{10} = \pm \sqrt{f_p^2 + f_{cz}^2} \quad (50)$$

Błąd pobierania próbki f_p — wg tabl. 3.

Tablica 3

Paliwo	Odpady paleniskowe, %	
	popiół	żużel
Węgiel kamienny lub koks	± 10	± 30
Węgiel brunatny	± 15	± 40

Błąd oznaczania zawartości części palnych f_{cz} nie powinien przekraczać:

a) dla kotłów opalanych węglem kamiennym lub koksem

$$f_{cz} = \pm 10\%$$

b) dla kotłów opalanych węglem brunatnym

$$f_{cz} = \pm 15\%$$

6.3.4. Błąd wyznaczania strat ciepła do otoczenia (f_{11})

$$f_{11} = \pm 50\%$$

jednak nie więcej niż $\pm 2\%$ sprawności kotła.

6.3.5. Całkowity błąd wyznaczania sprawności kotła metodą pośrednią (f_η) należy określić wg wzoru

$$f_\eta = \pm \frac{1 - \eta}{\eta} \cdot f_c \quad (51)$$

w którym:

f_c — błąd wyznaczania strat ciepłych kotła

$$f_c = \pm \frac{\sum_{i=8}^{i=11} (S \cdot f_i)^2}{\sum_{i=8}^{i=11} S} \quad (52)$$

przy czym:

$$\sum_{i=8}^{i=11} (S \cdot f_i)^2 = (S_k \cdot f_8)^2 + (S_{co} \cdot f_9)^2 + (S_p \cdot f_{10})^2 + (S_{pr} \cdot f_{11})^2 \quad (53)$$

$$\sum_{i=8}^{i=11} S = S_k + S_{co} + S_p + S_{pr} \quad (54)$$

Różnicę sprawności spowodowaną błędem całkowitym f_η przy metodzie pośredniej należy obliczyć według wzoru

$$\Delta \eta = \pm \frac{\eta \cdot f_\eta}{100} \quad (55)$$

7. SPRAWOZDANIE Z BADAŃ

W celu nadania jednolitej formy opracowanym sprawozdaniom z badań cieplnych kotłów zaleca się, aby zawierały one następujące rozdziały i informacje:

Wstęp

- miejsce zainstalowania,
- podstawę i cel badań,
- sposób doboru badanej wielkości kotła (w przypadku badań kotła z serii),
- wykonawcę badań.

Charakterystyka kotła

- dane nominalne kotła,

- b) wytwórca, rok budowy, numer fabryczny oraz inne dane wymienione w tabliczce znamionowej,
- c) rysunek kotła (schemat konstrukcyjny),
- d) opis kotła,
- e) krótka charakterystyka urządzeń pomocniczych wchodzących w skład kotła.

Badania cieplne kotła

- a) schemat stoiska pomiarowego z zaznaczonymi punktami pomiarowymi i ich objaśnieniem oraz krótki opis aparatury pomiarowej użytej do pomiarów,
- b) opis stoiska pomiarowego,
- c) zestawienie wielkości mierzonych i przyrządów pomiarowych,
- d) metodyka badań.

- e) data i zakres badań,
- f) stan kotła przed badaniami i w czasie badań,
- g) wzory obliczeniowe.

Analiza wyników pomiarów

- a) zestawienie średnich wielkości zmierzonych i oznaczonych,
- b) zestawienie wielkości charakterystyk i bilansów cieplnych kotła¹⁾,
- c) wykresy charakterystycznych wielkości kotła,
- d) analiza wyników badań.

Wnioski końcowe i ocena kotła powinny interpretować uzyskane rezultaty badań w odniesieniu do obowiązujących kryteriów, normatywów i przepisów.

¹⁾ Wzór formularza wg Informacji dodatkowych p. 8.

K O N I E C

INFORMACJE DODATKOWE

1. Instytucja opracowująca normę — Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Wytwarzania Instalacyjno-Sanitarnych i Grzewczych, Radom.

2. Istotne zmiany w stosunku do BN-71/1317-02 — wycofano pomiar wilgotności pary kalorymetrem dławieniowym.

3. Normy związane

- PN-75/B-02412 Zabezpieczenie urządzeń wytwarzających parę niskoprężną. Wymagania
- PN-77/B-02413 Ogrzewnictwo i ciepłownictwo. Zabezpieczenie urządzeń ogrzewań wodnych systemu otwartego. Wymagania
- PN-70/B-02415 Ogrzewnictwo i ciepłownictwo. Zabezpieczenie urządzeń ogrzewań wodnych systemu zamkniętego z własnym źródłem ciepła. Wymagania i badania
- PN-74/C-02050/04 Koks z węgla kamiennego. Koks przemysłowo-opałowy
- PN-66/C-04000 Ropa naftowa i przetwory naftowe. Pobieranie próbek
- PN-71/C-04061 Przetwory naftowe. Oznaczanie ciepła spalania i wartości opałowej w bombie kalorymetrycznej
- PN-74/C-04540/00 Woda i ścieki. Oznaczanie wartości pH, kwasowości i zasadowości. Postanowienia ogólne i zakres normy
- PN-77/C-04542 Woda i ścieki. Oznaczanie przewodności elektrolitycznej właściwej
- PN-74/C-04558 Woda i ścieki. Oznaczanie i barwy
- PN-72/C-04559/00 Woda i ścieki. Badania zawartości zawiesin. Postanowienia ogólne i zakres normy
- PN-71/C-04583/00 Woda i ścieki. Badania mętności i przezroczystości. Postanowienia ogólne i zakres normy
- PN-73/C-04586/00 Woda i ścieki. Badania zawartości żelaza. Postanowienia ogólne i zakres normy
- PN-74/C-04621 Woda i ścieki. Pobieranie próbek pary wodnej do analizy fizycznej i chemicznej
- PN-82/C-96000 Przetwory naftowe. Gazy węglowodorowe (płynne C₃ — C₄)
- PN-71/C-96001 Paliwa gazowe do dystrybucji w gospodarce komunalnej
- PN-80/C-04502 Węgiel kamienny i brunatny. Próbkę produkcyjną. Pobieranie, przygotowanie i sprawdzanie dokładności
- PN-81/C-04514/00 Paliwa stałe — oznaczanie zawartości siarki. Terminologia i pobieranie próbek
- PN-73/G-04521 Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości węgla i wodoru metodą Sheffield
- PN-70/H-83136 Kotły grzewcze. Nazwy i określenia
- PN-80/M-53750 Termometry szklane. Wspólne wymagania i badania

PN-81/M-53854/00 Termometry elektryczne. Charakterystyki termometryczne termoelementów. Podział termometrów

PN-65/M-53950 Pomiar natężenia przepływu płynów za pomocą zwężek

PN-83/N-03010 Statystyczna kontrola jakości. Losowy wybór jednostek produktu do próbek

BN-74/0543-15 Paliwa gazowe. Gazy wzorcowe stosowane do badań aparatów gazowych

4. Normy zagraniczne

RFN DIN 4702 Blatt 2 Heizkessel. Prüfregeln

5. Autor projektu normy

— zespół autorów.

6. Zalecane układy stanowisk badawczych i urządzeń pomiarowych

6.1. Opis stanowiska badawczego z podmieszaniami świeżej wody do obiegu kotła przeznaczony do badań wodnych nieskotemperaturowych i średnitemperaturowych. Dopływ do kotła i odpływ połączone są krótkim przewodem izolowanym, na którym zabudowana jest pompa obiegowa (2) i zawór regulacyjny (3). Woda zimna o temperaturze t_{p2} pod stałym ciśnieniem na dopływie H regulowanym przez urządzenie (15) z dokładnością $\pm 3\%$ lub bezpośrednio z wodociągu przez regulator ciśnienia, wprowadzana jest przez zawór regulacyjny (13) do przewodu powrotnego za zaworem regulacyjnym (3). W miejscu domieszania wody (16) miesza się ona z wodą podgrzaną w kotle, powodując ochłodzenie wody w przewodzie powrotnym kotła do temperatury t_{p1} .

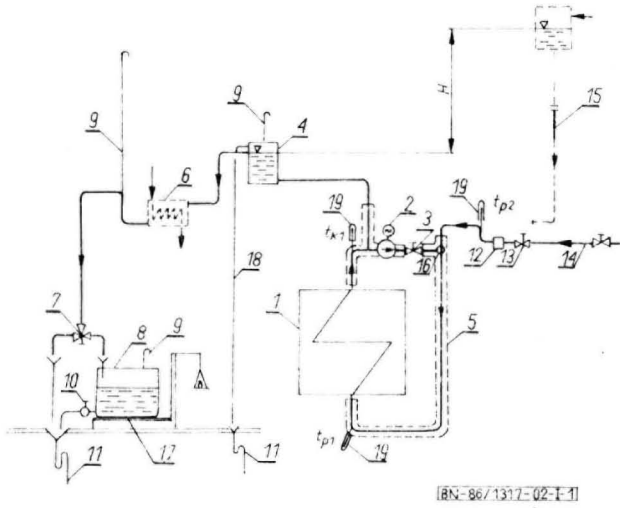
Ta sama ilość wody o temperaturze odpływowej t_{c1} odpływa jednocześnie z układu do zbiornika wyrównawczego (4) połączonego z atmosferą lub zamkniętego w przypadku badań kotłów średnitemperaturowych.

Ilość wody zimnej wprowadzonej do obiegu regulowana jest zaworem regulacyjnym (13), w zależności od wymaganej mocy kotła. Zawór regulacyjny (3) służy do utrzymania różnicy temperatur wody na dopływie i odpływie z kotła.

Moc kotła określana jest przez pomiar ilości wody odpływającej z układu przy różnicy temperatur ($t_{c1} - t_{p2}$). Ilość wody odpływającej z układu określona jest przez ważenie lub objętościowo. Pomiar wagowy odbywa się za pomocą naczynia wagowego (8). Przy użyciu jednego naczynia waży się ilość wody odpływającej z układu w ciągu $5 \div 10$ min. Przy użyciu dwu naczyń i dwu wag można mierzyć całą ilość wody wypływającej z układu w czasie trwania pomiaru. Pomiar objętościowy może być wykonany przy użyciu przepływomierza (12) lub dwudzielnego zbiornika cechowanego pokazanego na rys. 1-2 (szczegóły 12).

Na rys. 1-1 oznaczono jako izolowane te przewody, których straty cieplne muszą być uwzględnione przy obliczaniu mocy kotła.

Przy krótkich i dobrze izolowanych przewodach, straty te mogą być pominięte. Duża różnica temperatur ($t_{k1} - t_{p2}$), mała bezwładność układu i ograniczone straty ciepłe na stanowisku badawczym umożliwiają dużą dokładność pomiarów.



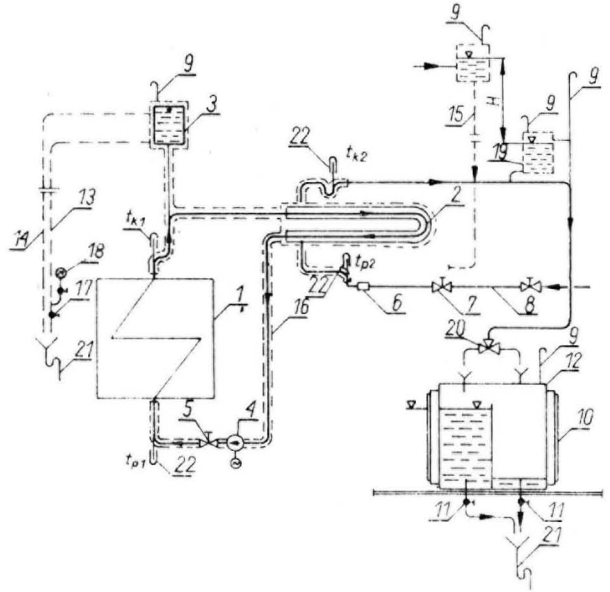
BN-86/1317-02-F-1

Rys. I-1. Schemat stanowiska badawczego z domieszczeniem świeżej wody do obiegu kotła, przeznaczonego do badań kotłów wodnych niskotemperaturowych i średniotemperaturowych

1 — kocioł wodny, 2 — pompa obiegowa, 3 — zawór regulujący, 4 — naczynie przelewowe, 5 — izolacja rurociągów, 6 — urządzenie schładzające, zmniejszające straty parowania, 7 — zawór trójdrogowy, 8 — naczynie wagowe, 9 — odpowietrzenia, 10 — zawór spustowy, 11 — przewody odpływowe, 12 — przepływomierz, 13 — zawór regulujący, 14 — przewód wodociągowy, 15 — urządzenie do zasilania układu wodą o stałym ciśnieniu (2 warianty rozwiązania pokazano na rys. I-10), 16 — miejsce domieszczenia świeżej wody, 17 — waga, 18 — rura przelewowa, 19 — wskaźniki temperatury wody, t_{p1} — temperatura wody na dopływie do kotła, t_{k1} — temperatura wody na odpływie z kotła, t_{p2} — temperatura wody świeżej, H — wysokość ciśnienia na dopływie wody świeżej, wprowadzonej do obiegu

dawczego. Stratę tę dodaje się do mocy cieplnej kotła badanego, przy tych samych temperaturach na dopływie i odpływie z kotła, przy których strata cieplna stanowiska badawczego została określona. Przy budowie stanowiska badawczego wg schematu na rys. I-2 należy możliwie ograniczyć jego pojemność wodną stosując wymienniki przeciwprądowe o małej pojemności wodnej oraz ograniczając długości rurociągów. Na skutek dość znacznej pojemności wodnej, układ pomiarowy ma pewną bezwładność, utrudnia to uzyskanie stanu równowagi cieplnej i może zmusić do wprowadzenia korekty na stan cieplny układu, jeżeli temperatury na odpływie i na dopływie do kotła nie będą dokładnie zgodne z początkiem i na końcu pomiaru.

Ponadto dokładność określenia strat ciepłych stanowiska wpływa na dokładność pomiarów.



BN-86/1317-02-F-2

Rys. I-2. Schemat stanowiska badawczego z wymiennikiem ciepła, przeznaczonego do badań kotłów wodnych niskotemperaturowych

1 — kocioł wodny niskotemperaturowy, 2 — wymiennik ciepła, 3 — naczynie zbiorcze otwarte wg PN-77/B-02413, 4 — pompa obiegowa, 5 — zawór regulujący, 6 — przepływomierz, 7 — zawór regulujący, 8 — przewód wodociągowy, 9 — odpowietrzenia, 10 — rurki wodowskazowe, 11 — zawory spustowe, 12 — zbiornik cechowany dwudzielny do pomiaru objętości wody, 13 — rura sygnalizacyjna, 14 — rura przelewowa, 15 — naczynie do zasilania układu wodą o stałym ciśnieniu (dwa warianty rozwiązania pokazano na rys. I-17), 16 — izolacja rurociągów, 17 — zawór odcinający, 18 — wskaźnik wysokości stupa wody, 19 — naczynie przelewowe (wariant rozwiązania), 20 — zawór trójdrogowy, 21 — przewody spustowe, 22 — wskaźniki temperatur, t_{p1} — temperatura wody na dopływie do kotła, t_{k1} — temperatura wody na odpływie z kotła, t_{k2} — temperatura wody chłodzącej na dopływie do wymiennika, t_{p2} — temperatura wody chłodzącej na odpływie z wymiennika, H — wysokość ciśnienia na dopływie wody chłodzącej

6.2. Opis stanowiska badawczego z wymiennikiem ciepła przeznaczonego do badania kotłów wodnych niskotemperaturowych. Woda podgrzana w kotle (1) do temperatury t_{k1} zostaje ochłodzona w wymienniku ciepła (2) do temperatury t_{p1} , a następnie za pomocą pompy obiegowej (4) przez zawór regulujący (5) zostaje ponownie wprowadzona do kotła. Zawór regulujący (5) służy do regulacji ilości wody krążącej w obiegu i utrzymania różnicy temperatur na odpływie i dopływie do kotła. Woda chłodząca o temperaturze t_{p2} i pod stałym ciśnieniem H regulowanym przez urządzenie (15) z dokładnością $\pm 3\%$ lub bezpośrednio z wodociągu przez regulator ciśnienia, wprowadzana jest przez zawór regulujący (7) do wymiennika ciepła (2), gdzie odbiera ciepło od wody krążącej w obiegu kocioł-wymiennik, podgrzewając się na wyjściu z wymiennika do temperatury t_{k2} . Przepływ wody chłodzącej regulowany jest zaworem regulującym (7).

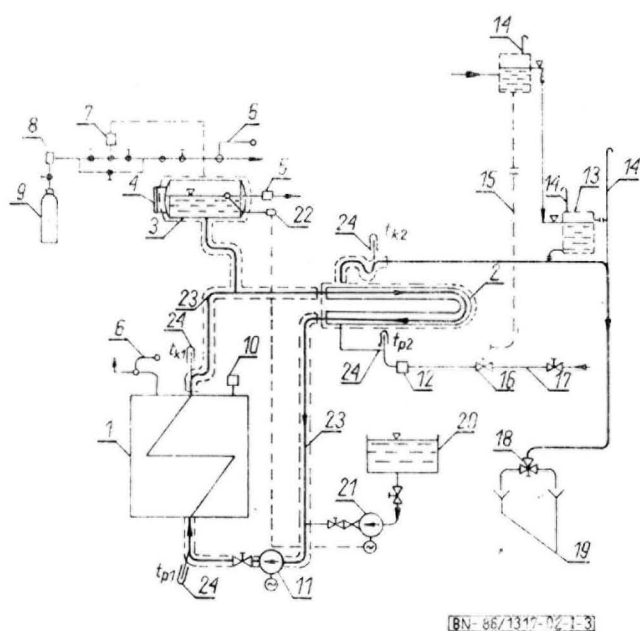
Ilość wody chłodzącej określona jest przez ważenie lub objętościowo.

Pomiar objętościowy może być wykonany przy użyciu przepływomierza (6) lub oddzielnego zbiornika cechowanego (12).

Pomiar wagowy wykonuje się zgodnie z opisem wg 6.1.

Na rys. I-2 oznaczono jako izolowane te przewody wraz z wymiennikiem ciepła i naczyniem zbiorczym, których straty ciepła muszą być uwzględnione przy obliczaniu mocy kotła. Straty ciepłe stanowiska należy możliwie dokładnie określić rachunkowo. Zaleca się określać je doświadczalnie zabudowując zamiast kotła elektryczny podgrzewacz wodny, którego pobór energii elektrycznej mierzy się. Część odprowadzonego ciepła jest przekazana wodzie chłodzącej, utrzymując w układzie rurociągów takie temperatury, jakie występują podczas badań kotłów na stanowisku. Ilość ciepła oddana wodzie chłodzącej jest mierzona i odjęta od energii pobieranej przez grzejnik elektryczny. Reszta stanowi stratę cieplną stanowiska ba-

6.3. Opis stanowiska badawczego z wymiennikiem ciepła przeznaczonego do badań kotłów wodnych średniotemperaturowych i niskotemperaturowych. Układ stanowiska badawczego pokazany na rys. I-3 przeznaczony do badań kotłów średniotemperaturowych odpowiada układowi opisanemu w 6.2 (rys. I-2), z tą różnicą, że układ wg rys. I-3 ma zespół stabilizujący z naczyniem zbiorczym zamkniętym wg PN-70/B-02415. Pokazany jako przykład na rys. 3 układ stanowiska badawczego dla kotłów średniotemperaturowych może być rozwiązany w odmienny sposób, lecz zgodnie z PN-70/B-02415. Stanowisko może być używane również do badań kotłów niskotemperaturowych po wyłączeniu lub właściwym ustawieniu urządzeń utrzymujących ciśnienie w naczyniu zbiorczym.



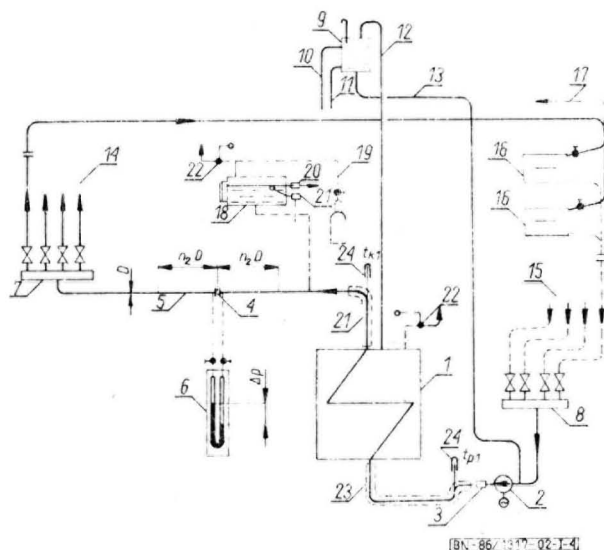
Rys. 1-3. Stanowisko badawcze z wymiennikiem ciepła, przeznaczone do badań kotłów wodnych średniotemperaturowych lub niskotemperaturowych

1 — kocioł wodny średniotemperaturowy, 2 — wymienniki ciepła, 3 — naczynie wzbiorcze zamknięte, 4 — wodowskaz, 5 — urządzenie upustowe sterowane poziomem wody w naczyniu, 6 — zawory bezpieczeństwa, 7 — regulator ciśnienia, 8 — zawór regulacyjny, 9 — zbiornik gazu chemicznie obojętnego, 10 — wyłącznik sygnału dźwiękowego, 11 — pompa obiegowa, 12 — przepływomierz, 13 — naczynie przelewowe, 14 — odpowietrzenia, 15 — naczynie do zasilania układu wodą o stałym ciśnieniu (2 warianty rozwiązania na rys. 1-10), 16 — zawór regulacyjny, 17 — przewód wodociągowy, 18 — zawór trójdrogowy, 19 — miejsce pomiaru wody chłodzącej (pomiar wagowy wg 6.1 lub objętościowy wg 6.2), 20 — zbiornik wody uzupełniającej, 21 — pompa uzupełniająca, 22 — wyłącznik pompy uzupełniającej, 23 — izolacja, 24 — wskaźniki temperatur wody, t_{p1} — temperatura wody na dopływie do kotła, t_{k1} — temperatura wody na odpływie z kotła, t_{p2} — temperatura wody chłodzącej na dopływie do wymiennika, t_{k2} — temperatura wody chłodzącej na odpływie z wymiennika, H — wysokość ciśnienia na dopływie wody chłodzącej

6.4. Opis stanowiska badawczego dla kotłów wodnych niskotemperaturowych i średniotemperaturowych. Układ stanowiska badawczego pokazany na rys. 1-4 bywa stosowany z konieczności przy badaniach kotłów wodnych zainstalowanych w kotłowniach lub przy badaniu kotłów dużych, gdy nie dysponuje się dostateczną ilością wody chłodzącej dla zrealizowania układu stanowisk badawczych wg rys. 1-2 lub 1-3.

Ilość wody przepływającej przez kocioł mierzy się przepływomierzem objętościowym (3) na przewodzie powrotnym lub manometrem różnicowym (6) połączonym ze zwężką pomiarową (4) wykonaną i zabudowaną wg PN-65/M-53950.

Duża bezwładność cieplna układu utrudnia utrzymanie stanu równowagi cieplnej. Podczas pomiaru należy dążyć do ustalenia odbioru ciepła przez instalację grzewczą lub schładzającą na poziomie odpowiadającym mocy cieplnej kotła. Różnica temperatur wody na dopływie i odpływie z kotła powinna być utrzymana możliwie duża, lecz nie większa niż 25°C przy kotłach niskotemperaturowych i 40°C przy kotłach średniotemperaturowych. Temperatury na początku i na końcu pomiaru nie powinny się różnić, aby uniknąć wprowadzania korekty na stan cieplny kotła. Stosunkowo małe różnice temperatur wody na odpływie i na dopływie do kotła wymagają dużej dokładności pomiarów ($\pm 0,2^{\circ}\text{C}$), gdyż przy dużych przepływach dokładność pomiaru temperatur wpływa istotnie na poziom błędów pomiarowych.



Rys. 1-4. Schemat stanowiska badawczego dla kotłów wodnych niskotemperaturowych i średniotemperaturowych stosowanego zwykle dla dużych kotłów w instalacjach zrealizowanych

1 — kocioł wodny niskotemperaturowy lub średniotemperaturowy, 2 — pompa obiegowa, 3 — przepływomierz, 4 — zwężka pomiarowa, 5 — odcinek pomiarowy rurociągu, 6 — manometr różnicowy, 7 — kolektor zasilający instalacji grzewczej, 8 — kolektor powrotny instalacji grzewczej, 9 — naczynie wzbiorcze otwarte, 10 — rura przelewowa, 11 — rura sygnalizacyjna, 12 — rura bezpieczeństwa, 13 — rura wzbiorcza, 14 — przewody zasilające instalacji grzewczej, 15 — przewody powrotne instalacji grzewczej, 16 — odbiorniki ciepła instalacji grzewczej, 17 — przewody odpowietrzające instalacji grzewczej, 18 — naczynie wzbiorcze zamknięte, 19 — urządzenie utrzymujące stałe ciśnienie w naczyniu wzbiorczym zamkniętym, 20 — urządzenie upustowe, 21 — urządzenie włączające pompę uzupełniającą, 22 — zawory bezpieczeństwa, 23 — izolacja rurociągów, 24 — wskaźniki temperatur wody, t_{p1} — temperatura wody na dopływie do kotła, t_{k1} — temperatura wody na odpływie z kotła, D — wewnętrzna średnica rurociągu, n_1D — długość prostego odcinka rurociągu przed zwężką wg PN-65/M-53950, n_2D — długość prostego odcinka rurociągu za zwężką wg PN-65/M-53950, Δp — różnica ciśnień przed i za zwężką

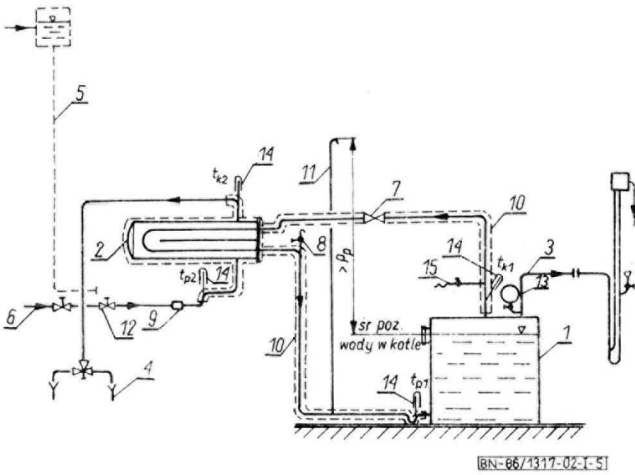
6.5. Opis stanowiska badawczego dla kotłów parowych z wymiennikiem ciepła i grawitacyjnym powrotem kondensatu. Para wytworzona w kotle płynie do węzłowni wymiennika (2), gdzie zostaje skroplona, oddając ciepło wodzie chłodzącej; kondensat o temperaturze t_{p1} wraca grawitacyjnie do kotła.

Woda chłodząca pod stałym ciśnieniem na dopływie regulowanym urządzeniem (5) lub bezpośrednio z wodociągu przez regulator ciśnienia z dokładnością regulacji $\pm 3\%$, wprowadza się przez zawór regulacyjny (12) do wymiennika ciepła (2).

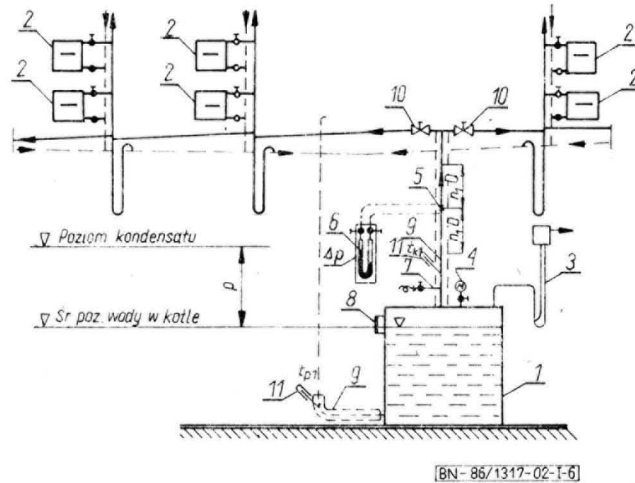
Ilość wody chłodzącej określana jest przez ważenie lub objętościowo wg metod opisanych w 6.1 i 6.2 lub za pomocą wodomierza objętościowego (9). Wilgotność pary wychodzącej z kotła określa się wg metod opisanych w 4.7.11 niniejszej normy. Stanowisko badawcze, wg schematu na rys. 1-5, pozwala na dokładne określenie ilości ciepła oddawanego czynnikowi grzewczemu. Straty ciepłe stanowiska badawczego muszą być określone wg wymagań podanych w 6.2.

6.6. Opis stanowiska badawczego dla kotłów parowych z grawitacyjnym powrotem kondensatu stosowanego do badań kotłów w instalacjach zrealizowanych. Ilość pary wytworzonej w kotle mierzona jest za pomocą zwężki pomiarowej (5) połączonej z manometrem różnicowym (6). Określone są ponadto pozostałe parametry pary, tj. temperatura, ciśnienie i wilgotność, a także temperatura powracającego kondensatu. W czasie badań najlepiej jest utrzymać możliwie stałe ciśnienie pary w kotle za pomocą zaworów (10).

Stanowisko może być stosowane do badań większych kotłów, gdy nie istnieje możliwość wykonania stanowiska wg rys. 1-5.



Rys. I-5. Schemat stanowiska badawczego dla kotłów parowych z wymiennikiem ciepła i grawitacyjnym powrotem kondensatu
 1 — kocioł parowy, 2 — wymiennik ciepła, 3 — przyrząd bezpieczeństwa, zgodnie z PN-75/B-02412, 4 — miejsce pomiaru ilości wody chłodzącej (pomiar wagowy wg opisu p. 6.1 lub objętościowy wg opisu w p. 6.2), 5 — urządzenie do zasilania układu wodą o stałym ciśnieniu (2 warianty rozwiązania pokazano na rys. I-17), 6 — przewód wodociągowy, 7 — zawór regulujący pary, 8 — odpowietrzenie wymiennika, 9 — przepływomierz, 10 — izolacja rurociągów, 11 — odpowietrzenie, 12 — zawór regulujący, 13 — manometr, 14 — wskaźniki temperatur, 15 — miejsce pomiaru wilgotności pary, t_{p1} — temperatura kondensatu, t_{k1} — temperatura pary, t_{p2} — temperatura wody na dopływie do wymiennika, t_{k2} — temperatura wody na odpływie z wymiennika, p_p — ciśnienie pary w kotle



Rys. I-6. Schemat stanowiska badawczego dla kotłów parowych z grawitacyjnym powrotem kondensatu, stosowanego w instalacjach zrealizowanych

1 — kocioł parowy, 2 — odbiorniki pary (grzejniki, nagrzewnice), 3 — przyrząd bezpieczeństwa, 4 — manometr, 5 — zwężka pomiarowa wg PN-65/M-53950, 6 — manometr różnicowy, 7 — miejsce pomiaru wilgotności pary, 8 — wodowskaz, 9 — izolacja rurociągu, 10 — zawory regulujące na liniach, 11 — wskaźniki temperatur, p_p — ciśnienie pary w kotle, t_{k1} — temperatura pary, t_{p1} — temperatura kondensatu, D — wewnętrzna średnica rurociągu, n_1D — długość prostego odcinka rurociągu przed zwężką wg PN-65/M-53950, n_2D — długość prostego odcinka rurociągu za zwężką wg PN-65/M-53950, Δp — różnica ciśnień przed i za zwężką

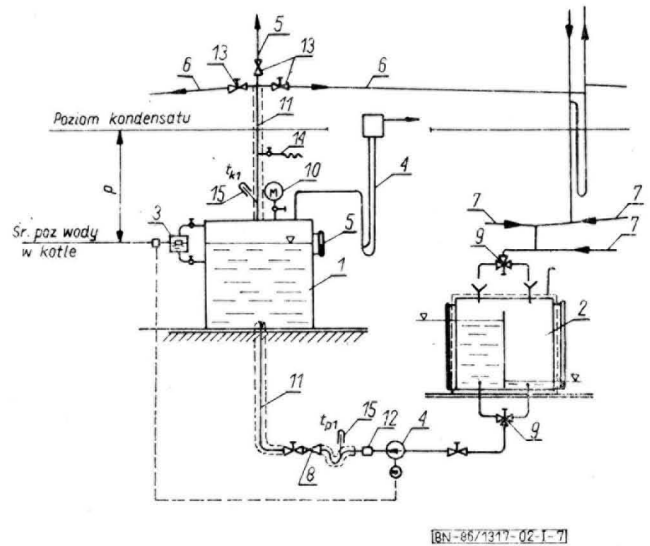
6.7. Opis stanowiska badawczego dla kotłów parowych zabudowanych w instalacjach grzewczych z przepompowaniem kondensatu. Na rys. I-7 pokazano jeden z wariantów rozwiązania stanowiska pomiarowego, w którym moc cieplna kotła określana jest przez pomiar ilości kondensatu wprowadzanego do kotła oraz pomiar parametrów wytwarzanej pary.

W układzie tym pomiar ilości kondensatu wprowadzanego do kotła wykonywany jest za pomocą dwudzielnego zbiornika kondensatu (2), lub przepływomierza objętościowego (12).

W przypadku istnienia układu zasilania ze zbiornikiem pośrednim, pomiar ilości kondensatu może być wykonywany bezpośrednio w tym zbiorniku. Zasadnicze znaczenie dla dokładności pomiaru ma określenie poziomu wody w kotle na początku i końcu pomiaru.

Poziom wody w kotle na początku i końcu pomiaru powinien być odczytywany na wodowskazie kotła lub zbiornika, w którym umieszczony jest pływakowy regulator poziomu wody.

Odczyt powinien być wykonywany przy tej samej chwilowej mocy cieplnej kotła. W celu uniknięcia wprowadzenia poprawki, najlepiej jest kończyć pomiar przy tym samym poziomie wody, przy jakim został rozpoczęty.

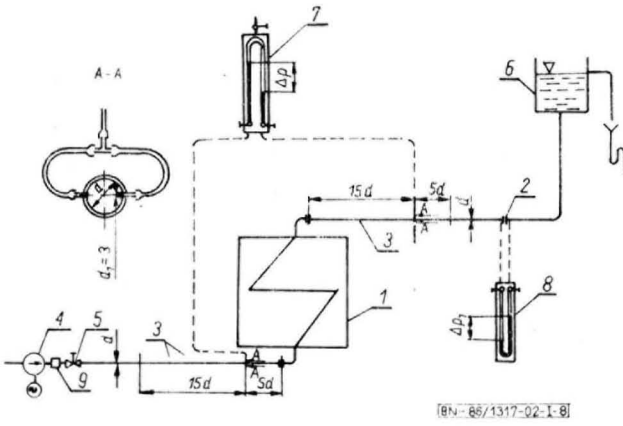


Rys. I-7. Stanowisko badawcze dla kotłów parowych zabudowanych w instalacjach grzewczych z przepompowaniem kondensatu

1 — kocioł parowy, 2 — zbiornik kondensatu, 3 — regulator poziomu wody w kotle, 4 — przyrząd bezpieczeństwa, 5 — wodowskaz, 6 — przewody zasilające instalacji grzewczej, 7 — przewody kondensacyjne instalacji grzewczej, 8 — zawór zwrotny, 9 — zawory trójdrogowe, 10 — izolacja, 11 — manometr, 12 — wodomierz objętościowy, 13 — zawory odcinające, 14 — sonda do pomiaru wilgotności pary, 15 — wskaźnik temperatur, t_{p1} — temperatura kondensatu, t_{k1} — temperatura pary

6.8. Opis stanowiska do określania oporów hydraulicznych kotła po stronie wodnej. Opory hydrauliczne kotła po stronie wodnej określa się dla wielkości przepływu wody odpowiadającemu mocy nominalnej kotła przy różnicy temperatur na wyjściu i wejściu do kotła w granicach $10 \div 25^\circ\text{C}$. Opory hydrauliczne kotła przy tych samych wielkościach przepływu są zwykle niewielkie, zaleca się więc przeprowadzenie pomiarów przy większych przepływach. Uzyskane wyniki pomiarów oporów przepływu wody nanosi się na wykres oporów hydraulicznych w funkcji wielkości przepływu w skali logarytmicznej (na obu osiach) i łączy linią prostą.

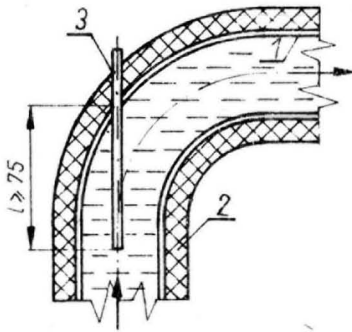
W drodze ekstrapolacji można odczytać wielkość oporów hydraulicznych kotła i odcinków pomiarowych dla założonego przepływu. Osobno należy wykonać pomiar hydraulicznych oporów obu odcinków pomiarowych, łącząc je ze sobą bezpośrednio. Wyniki należy nanieść na wykres i odjąć od oporów kotła, zmierzonych uprzednio wraz z oporami odcinków pomiarowych.



BN-86/1317-02-I-8

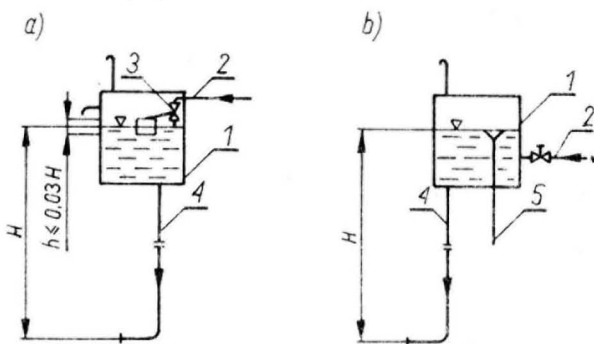
Rys. I-8. Schemat stanowiska do określania oporów hydraulicznych kotła po stronie wodnej

1 — kocioł wodny, 2 — zwężka pomiarowa, 3 — odcinki pomiarowe długości $15d$, 4 — pompa, 5 — zawór regulacyjny, 6 — naczynie przelewowe, 7 — manometr różnicowy do pomiaru oporów hydraulicznych kotła, 8 — manometr różnicowy do pomiaru przepływów, 9 — wodomierz objętościowy, d — średnica wewnętrzna rurociągów, d_1 — średnica wewnętrzna rurek pomiarowych



BN-86/1317-02-I-9

Rys. I-9. Przykład zabudowy tulejki dla termometru
1 — rurociąg, 2 — izolacja cieplochronna rurociągu, 3 — studzienka termometru



BN-86/1317-02-I-10

Rys. I-10. Przykłady rozwiązania układu zasilania stanowiska pomiarowego wodą pod stałym ciśnieniem

a) układ z regulatorem pływakowym, b) układ z regulowanym przelewem.

1 — naczynie zasilające, 2 — dopływ wody zimnej, 3 — regulator pływakowy, 4 — przewód zasilający, 5 — przewód przelewowy

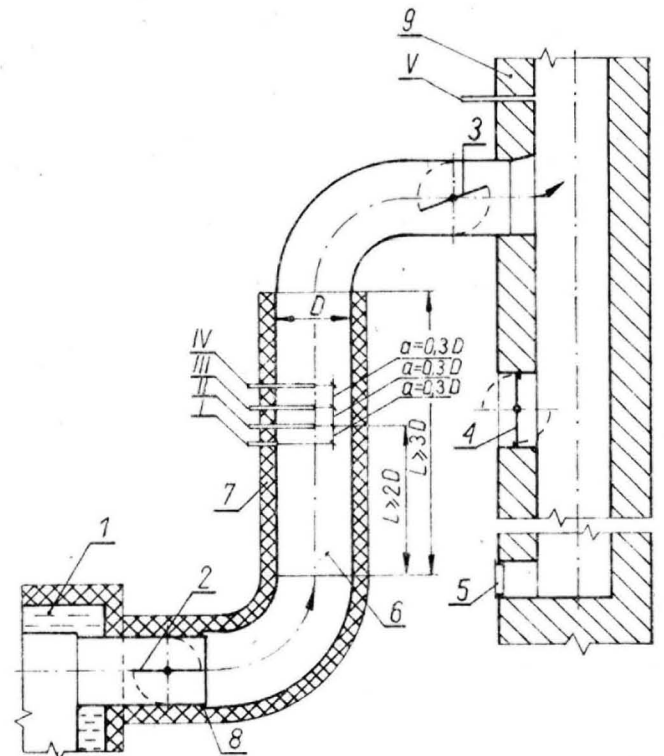
6.9. Odcinek pomiarowy spalin. Dla kotłów na paliwo stałe, płynne i gazowe, odcinek pomiarowy spalin powinien być zabudowany za króćcem odpływowym kotła. Odcinek pomiarowy może być usytuowany pionowo (rys. I-11) lub poziomo (rys. I-12). Odcinek powinien być wykonany wg wymiarów podanych na rysunkach, a wykonanie powinno zapewniać całkowitą szczelność.

Na końcu odcinka pomiarowego może znajdować się przepustnica do regulacji ciągu. Jeżeli spodziewane są wahania ciągu kominowego, należy w kominie lub czopuchu zainstalować ogranicznik ciągu w postaci przepustnicy, kłapy lub zasuw. Ograniczenie ciągu odbywa się przez podmieszanie do spalin tak zwanego fałszywego powietrza poza odcinkiem pomiarowym.

Dla kontroli ciągu w kominie przewidziano dodatkowy punkt pomiarowy. Badania kotła należy prowadzić przy całkowicie otwartej przepustnicy spalinowej kotła.

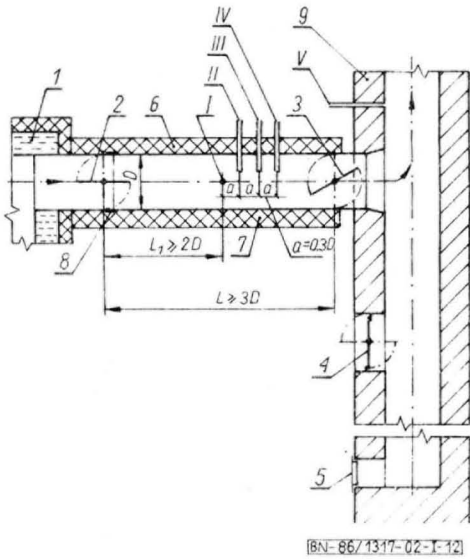
Dla kotłów gazowych z wbudowanym przerywaczem ciągu, impulsy pomiarowe powinny być pobierane możliwie blisko przed nim. Przewód spalinowy przed przerywaczem ciągu powinien być izolowany. Na urządzenie przerywacza ciągu nasadzony jest odcinek przewodu spalinowego długości 1 m.

Szczegóły punktów pomiarowych w odcinku pomiarowym spalin podano na rys. I-14 ÷ I-18.

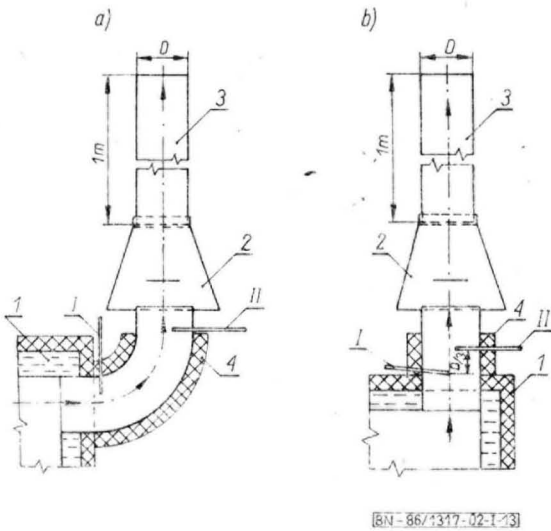


BN-86/1317-02-I-11

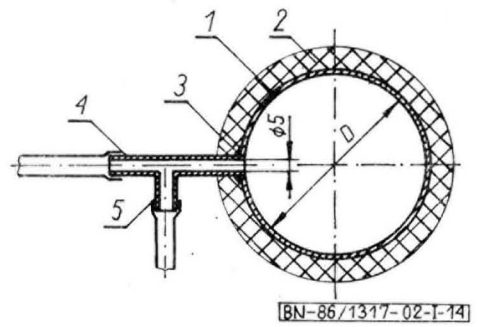
Rys. I-11. Pionowy odcinek pomiarowy spalin
1 — kocioł, 2 — przepustnica spalin kotła, 3 — przepustnica regulująca przepływ spalin, 4 — ogranicznik w postaci przepustnicy, kłapy lub zasuw, 5 — otwór wyczystny komin, 6 — odcinek pomiarowy spalin, 7 — izolacja cieplochronna grubości 40 mm, 8 — uszczelka na połączenie odcinka pomiarowego z króćcem spalinowym kotła, 9 — komin, I — króćciec do pomiaru ciągu (wg rys. I-14), II — króćciec lub króćce do pomiaru temperatury spalin (wg rys. I-15 lub I-17), III — sonda do analizy spalin (wg rys. I-18), IV — króćciec do pomiaru ilości sadzy (wg rys. I-16), V — króćciec do kontroli ciągu kominowego, a — minimalna odległość między króćcami pomiarowymi, $a = 0,3D$



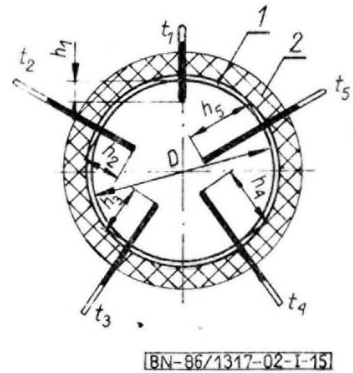
Rys. I-12. Poziomy odcinek pomiarowy dla spalin
 1 — kocioł, 2 — przepustnica spalin kotła, 3 — przepustnica regulująca kotła, 4 — ogranicznik ciągu w postaci przepustnicy, kłapy lub zasuw, 5 — otwór wyczystny komin, 6 — odcinek pomiarowy spalin, 7 — izolacja ciepłochronna grubości 40 mm, 8 — uszczelka do połączenia odcinka pomiarowego z króćcem spalinowym kotła, 9 — komin, I — króciec do pomiaru ciśnienia (rys. I-14), II — króciec (lub króćce) do pomiaru temperatury spalin (rys. I-15 lub I-17), III — sonda do analizy spalin (rys. I-18), IV — króciec do pomiaru ilości sadzy (rys. I-16), V — króciec do kontroli ciągu kominowego, a — minimalna odległość między króćcami pomiarowymi, $a = 0,3D$



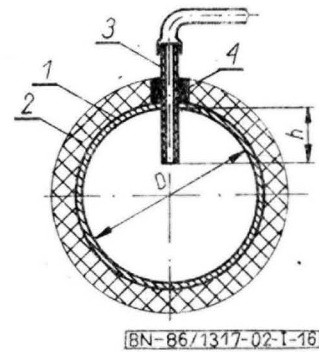
Rys. I-13. Przykład odcinka pomiarowego spalin dla kotłów gazowych z wbudowanym przerywaczem ciągu
 a) kocioł z poziomym odprowadzeniem spalin, b) kocioł z pionowym odprowadzeniem spalin
 I — kocioł, 2 — przerywacz ciągu, 3 — odcinek przewodu kominowego długości 1 m, 4 — izolacja ciepłochronna kanału spalinowego grubości 40 mm, I — króciec lub króćce do pomiaru temperatury spalin (rys. I-15 lub I-17), II — sonda do analizy spalin (rys. I-18)



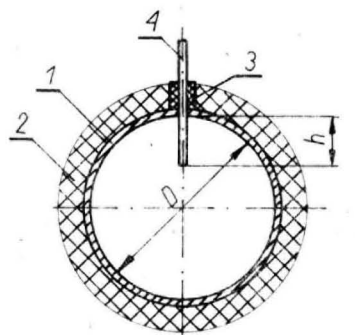
Rys. I-14. Króciec do pomiaru ciśnienia
 1 — odcinek pomiarowy spalin, 2 — izolacja ciepłochronna, 3 — spaw szczelny z krawędzią wewnętrzną przewodu spalinowego oczyszczony od wewnątrz, 4 — odgałęzienie dla przyrządu samopiszącego, 5 — odgałęzienie dla przyrządu wskazującego



Rys. I-15. Pomiar temperatury spalin przy zastosowaniu pięciu termometrów
 1 — odcinek pomiarowy spalin, 2 — izolacja ciepłochronna, $t_1 \div t_5$ — termometry oporowe, D — średnica wewnętrzna odcinka pomiarowego spalin
 Głębokość zanurzenia termometrów: $h_1 = 0,10D$, $h_2 = 0,17D$, $h_3 = 0,24D$, $h_4 = 0,30D$, $h_5 = 0,37D$

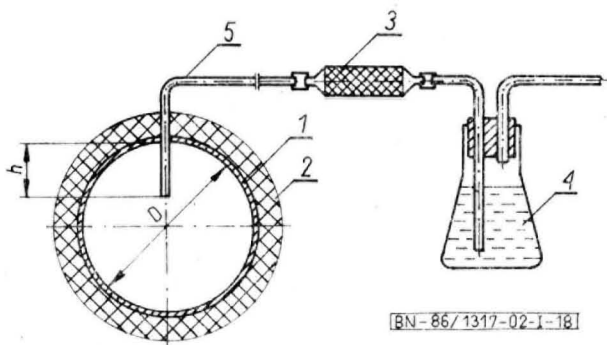


Rys. I-16. Króciec do kontroli sadzy
 1 — odcinek pomiarowy spalin, 2 — izolacja ciepłochronna, 3 — sonda, 4 — uszczelnienie, D — średnica odcinka pomiarowego, h — głębokość zanurzenia sondy: przy poziomym odcinku pomiarowym $h = D/3$, przy pionowym $h = D/2$



BN-86/1317-02-I-17

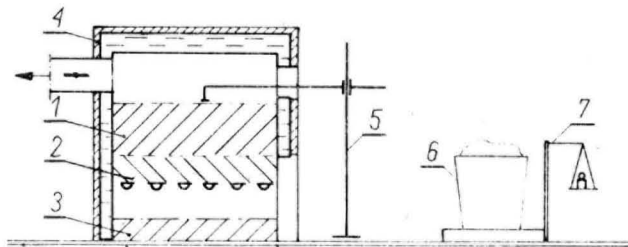
Rys. I-17. Pomiar temperatury spalin przy zastosowaniu jednego termometru lub termoelementu w przekroju poprzecznym
 1 — odcinek pomiarowy spalin, 2 — izolacja ciepłochronna, 3 — uszczelnienia, 4 — termometr lub termoelement, D — średnica wewnętrzna odcinka pomiarowego spalin, h — głębokość zanurzenia końcówki termometru lub termoelementu przy poziomym odcinku pomiarowym $h = D/3$, przy pionowym $h = D/2$.



BN-86/1317-02-I-18

Rys. I-18. Sonda do pobierania spalin do analizy
 1 — odcinek pomiarowy spalin, 2 — izolacja ciepłochronna, 3 — filtr z waty szklanej, 4 — filtr wody, 5 — sonda do pobierania próbek spalin, D — średnica odcinka pomiarowego spalin, h — głębokość zanurzenia sondy: przy poziomym odcinku pomiarowym $h = D/3$; przy pionowym $h = D/2$.

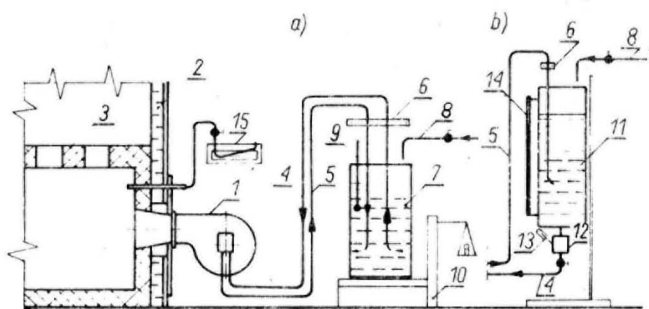
6.10. Pomiar poziomu paliwa stałego w palenisku



BN-86/1317-02-I-19

Rys. I-19. Schemat układu pomiarowego
 1 — warstwa narzuconego paliwa, 2 — warstwa żaru, 3 — warstwa popiołu, żużla i przesyłu, 4 — kocioł, 5 — czujnik wysokościowy przestawny, 6 — pojemnik paliwa, 7 — waga

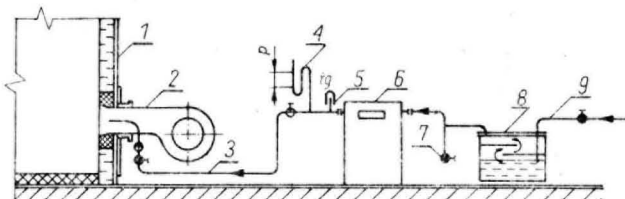
6.11. Pomiar zużycia paliw ciekłych



BN-86/1317-02-I-20

Rys. I-20. Schemat układu pomiarowego
 a) pomiar wagowy, b) pomiar objętościowy
 1 — palnik olejowy, 2 — kocioł, 3 — obmurze komory paleniskowej, 4 — przewody olejowe zasilające, 5 — przyrządy olejowe przelewowe, 6 — uchwyty przewodów olejowych, 7 — naczynie do pomiaru wagowego paliw płynnych, 8 — przewód doprowadzający paliwo płynne do naczyń pomiarowych, 9 — termometr, 10 — waga, 11 — wyskalowane naczynie do pomiaru objętościowego paliw płynnych, 12 — filtr, 13 — termometr, 14 — wskaźnik poziomu paliwa w naczyniu pomiarowym, 15 — ciągomierz do kontroli ciśnienia w komorze paleniskowej

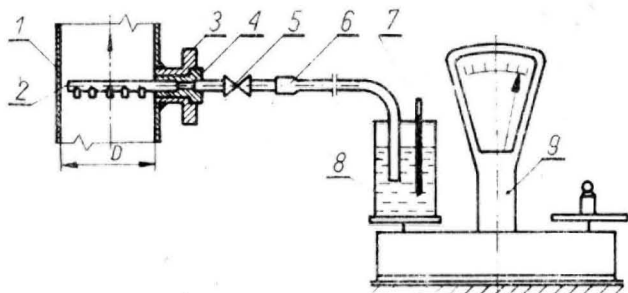
6.12. Pomiar objętościowy paliw gazowych



BN-86/1317-02-I-21

Rys. I-21. Schemat układu pomiarowego
 1 — kocioł, 2 — palnik gazowy, 3 — przewód gazowy, 4 — manometr, 5 — termometr, 6 — gazomierz, 7 — kurek odwadniający, 8 — urządzenie do nawilżania gazu w wypadku stosowania gazomierza suchego, 9 — przewód zasilający z instalacji gazowej

6.13. Pomiar wilgotności pary metodą Grena



BN-86/1317-02-I-22

Rys. I-22. Schemat układu pomiarowego
 1 — rurociąg parowy, 2 — sonda do poboru próbki pary, 3 — króciec montażowy, 4 — dławnica, 5 — zawór odcinający, 6 — rurka elastyczna, 7 — termometr, 8 — naczynie izolowane, 9 — waga

7. Zestawienie średnich wielkości zmierzonych i oznaczonych

Lp.	Mierzone wielkości		Oznaczenie	Wymiar	Średnie wartości		
					nr pomiaru		
					1	2	3
1	Paliwo	Rodzaj					
2		Masa lub objętość w jednostce czasu	B	kg/s, m ³ /s			
3		Gęstość oleju (gazu)	ρ	kg/m ³			
4		Temperatura oleju (gazu)	t_{pal}	°C			
5		Ciśnienie oleju (gazu)	p_{pal}	MPa			
6		Ciepło spalania	W_k	kJ/kg			
7		Wartość opałowa	W_d	kJ/kg			
8		Skład chemiczny	Popiół	A_p	%		
9			Wilgoć	w_{pal}	%		
10			Części lotne	$cz.l$	%		
11			C	—	%		
12			H	—	%		
13			S	—	%		
14			N	—	%		
15			O	—	%		
16			Analiza sitowa lub sortyment	—	—		
17	Woda lub para	Strumień masy wody	G	kg/s			
18		Temperatura na odpływie	t_k	°C			
19		Temperatura na dopływie	t_p	°C			
20		Przyrost temperatury	$t_k - t_p$	°C			
21		Ciśnienie	p	MPa			
22		Wilgotność pary	$1 - x$	%			
23		Entalpia pary	i	kJ/kg			
24		Entalpia wody	i'	kJ/kg			
25	Spaliny	Ciśnienie w komorze paleniskowej	p_k	MPa			
26		Ciśnienie za kotłem	p_s	MPa			
27		Temperatura za kotłem lub ciąg ¹⁾	t_{spal}	°C			
28		Skład chemiczny za kotłem	CO ₂	—	%		
29			O ₂	—	%		
30			CO + H ₂ + C _n + H _m	—	%		
31	Liczba sadzy za kotłem wg Bacharach	Ba	—				
32	Powietrze	Temperatura w kotłowni	t_0	°C			
33		Temperatura zewnętrzna	t	°C			
34		Ciśnienie atmosferyczne	p_b	MPa			
35		Współczynnik nadmiaru powietrza	n	—			
36	Odpady paleniskowe	Masa popiołu i przesypu	K_p	kg/s			
37		Masa żużła	K_z	kg/s			
38		Zawartość części palnych popiołu	b_p	%			
39		Zawartość części palnych żużła	b_z	%			

1) Ciąg jest to różnica między ciśnieniem atmosferycznym, a ciśnieniem spalin na wyjściu kotła.

8. Zestawienie wielkości charakterystycznych i bilansów cieplnych kotła — wg wzoru formularza podanego niżej.

Wielkości zmierzone lub oznaczone dobrane są zgodnie z programem badań.

I.p.	Wielkości obliczeniowe		Oznaczenia	Miano	Średnie wartości		
					nr pomiaru		
					1	2	3
1	Moc kotła	Moc nominalna	Q_N	kW			
2		Obciążenie kotła względne	q_k	%			
3	Ciepło	Dostarczone z paliwem	Q_{ch}	kW			
4		Odebrane	Q_k	kW			
5		Natężenie powierzchni ogrzewalnej	q	kW/m ²			
6		Natężenie cieplne rusztu	q_{cr}	kW/m ²			
7	Bilans cieplny	Strata kominowa	S_k	%			
8		Strata niepełnego spalania	S_{co}	%			
9		Strata niecałkowitego spalania	S_p	%			
10		Strata promieniowania, przewodzenia	S_{pr}	%			
11		Sprawność kotła	η	%			
12	Błędy pomiarowe	Pomiar zużycia paliwa	f_1	%			
13		Wyznaczanie jakości paliwa	f_2	%			
14		Pobieranie próbek paliwa	f_3	%			
15		Wyznaczanie wartości opałowej	f_4	%			
16		Natężenie przepływu czynnika gęstości strumienia czynnika	f_5	%			
17		Wyznaczanie ilości ciepła przejętego przez 1 kg czynnika	f_6	%			
18		Dodatkowy bezpośredniej metody wyznaczania sprawności	f_7	%			
19		Całkowity wyznaczania sprawności kotła metodą bezpośrednią	f_η	%			
20		Różnica sprawności przy metodzie bezpośredniej	$\Delta\eta$	%			
21		Straty wylotowej	f_8	%			
22		Niepełnego spalania	f_9	%			
23		Niedopału w odpadach paleniskowych	f_{10}	%			
24		Wyznaczania strat do otoczenia	f_{11}	%			
25		Całkowity wyznaczania sprawności kotła metodą pośrednią	f_η	%			
26	Różnica sprawności przy metodzie pośredniej	$\Delta\eta$	%				