

wyp 11.08 98 (N 10/98/ ob
zak PN-M-34702:88

ENERGETYKA	NORMA BRANŻOWA	BN-76
	Wentylatory kotłowe Pomiary aerodynamiczne	1388-06
		Grupa katalogowa VI 25

1 WSTĘP

1.1 Przedmiot normy Przedmiotem normy są metody pomiarów charakterystyk aerodynamicznych wentylatorów kotłowych na pomiarowych stoiskach nieznormalizowanych i w miejscu ich stałego zainstalowania

1.2 Określenia

1.2.1 Płaszczyzna wlotu wentylatora — płaszczyzna styczna do kołnierza wlotowego przeznaczonego do połączenia wentylatora z przewodem ssawnym lub płaszczyzna styczna do leja wlotowego

1.2.2 Płaszczyzna wylotu — płaszczyzna styczna do kołnierza wylotowego przeznaczonego do połączenia z przewodem tłocznym lub płaszczyzna styczna do najbardziej oddalonego przekroju obudowy wentylatora, przez który wypływa czynnik do otoczenia

1.2.3 Wydajność wentylatora jest określona jako wydajność masowa lub objętościowa. Wydajność masowa jest masą czynnika przepływającego w jednostce czasu przez płaszczyznę wlotu wentylatora

Wydajność objętościowa jest to objętość czynnika przepływająca w jednostce czasu przez wentylator, określona stosunkiem wydajności masowej do średniej gęstości czynnika w płaszczyźnie wlotu wentylatora

1.2.4 Moc użyteczna wentylatora — przyrost użytecznej mocy czynnika przepływającego przez wentylator, określony iloczynem wydajności masowej przez użyteczny przyrost energii w wentylatorze

1.2.5 Użyteczny przyrost energii — suma użytecznych przyrostów energii statycznej i dynamicznej, stanowiąca użyteczny przyrost energii

jednego kilograma masy czynnika przepływającego przez wentylator między płaszczyzną wlotu i wylotu wentylatora

1.2.6 Moc wentylatora — moc przekazana na wał wentylatora łącznie ze stratami mechanicznymi mocy w łożyskach stanowiących integralne części wentylatora oraz z mocą używaną na napęd urządzeń pomocniczych związanych z wałem wentylatora (np. na napęd pompki olejowej wirnika chłodzącego)

1.2.7 Sprawność wentylatora — stosunek mocy użytecznej do mocy wentylatora

1.2.8 Sprawność wewnętrzna wentylatora — stosunek mocy użytecznej do różnicy mocy wentylatora i mocy, która równa się sumie mocy traconej w łożyskach wentylatora i mocy zużywanej na napęd urządzeń pomocniczych związanych z wałem wentylatora

1.2.9 Moc pobierana przez silnik napędowy — moc doprowadzana do silnika z sieci elektrycznej (w przypadku elektrycznego silnika napędowego) lub z innego źródła zasilania (w przypadku silnika innego niż elektryczny)

1.2.10 Sprawność ruchowa wentylatora — stosunek mocy użytecznej wentylatora pomniejszonej o moc traconą na zasuwie działającej do mocy wentylatora. Dla wentylatorów z urządzeniem regulacyjnym sprawność ruchowa odpowiada sprawności wentylatora przy danym położeniu łopatek lub kierownic

1.2.11 Sprawność zespołu wentylatorowego — stosunek mocy użytecznej wentylatora do mocy pobieranej przez silnik napędowy

1.2.12 Opór sieci — suma spadków (bezwzględ- nego ciśnienia całkowitego czynnika przepływa- jącego przez instalację) pomniejszona o opór prze-

Zgłoszona przez Instytut Energetyki Ustanowiona przez Ministra Energetyki i Energii Atomowej dnia 30 listopada 1976 r. jako norma obowiązująca w zakresie czynności określonych normą od dnia 1 lipca 1977 r. (Dz. Norm. i Miar nr 1/1977 poz. 4)

plywu na przymkniętej zasuwie regulacyjnej (opor otwartej zasuwę należy do oporów sieci)

1 2 13 Dysza równowazna — dysza idealna (bez strat tarcia i kontrakcji), która przy określonym przepływie czynnika powoduje spadek ciśnienia równy oporowi sieci (1 2 12), występującemu przy tym przepływie. Wielkością charakterystyczną dyszy równowaznej jest jej pole przekroju wylotowego wyrażone w m^2

1 2 14 Podstawowe wielkości charakterystyczne pracy wentylatora — wartość wydajności spiętrzenia całkowitego lub użytecznego przyrostu energii, mocy i sprawności wentylatora dla okreś-

lonego punktu pracy na wykresie charakterystyki

1 2 15 Charakterystyka aerodynamiczna wentylatora — zależność spiętrzenia całkowitego mocy i sprawności od wydajności objętościowej lub zależność użytecznego przyrostu energii, mocy i sprawności od wydajności masowej

1 2 16 Punkt pracy wentylatora — punkt przecięcia krzywej oporów sieci z krzywą spiętrzenia na charakterystyce wentylatora

1 2 17 Pozostałe określenia — wg PN-75/M-43001

1 3 Najważniejsze oznaczenia wielkości i jednostki miar stosowane w normie podano w tabl 1

Tablica 1 Zestawienie oznaczeń wielkości i jednostek miar

Oznaczenie	Wielkość	Jednostki miar	
		układu technicznego	układu SI
1	2	3	4
A_r	pole przekroju dyszy równowaznej	m^2	m^2
A	pole przekroju pomiarowego	m^2	m^2
b	długość słupka rtęci barometru	mm	m
c_c	prędkość przepływu czynnika	m/s	m/s
D_r	średnica równowazna	m	m
d_c	średnica czułki sondy spiętrzającej	mm	m
D	średnica koła wirnikowego	m	m
f	liczba zmniejszenia użytecznego przyrostu energii	—	—
L	długość kanału	m	m
l	długość słupka cieczy manometrycznej	mm	m
M	moment obrotowy	kG m	N m
n_p	wykładnik politropy	—	—
n	prędkość obrotowa wentylatora	1/min	1/s
N	moc wentylatora	kW	W
N_u	moc użyteczna wentylatora	kW	W
N_{sp}	moc pobierana przez silnik	kW	W
P_s	bezwzględne ciśnienie statyczne	kG/m ²	Pa ¹⁾
P_o	ciśnienie otoczenia	kG/m ²	Pa
p_s	względne ciśnienie statyczne	kG/m ²	Pa
p_d	ciśnienie dynamiczne	kG/m ²	Pa
p_c	względne ciśnienie całkowite	kG/m ²	Pa
Δp_s	spiętrzenie statyczne	kG/m ²	Pa
Δp_d	przyrost ciśnienia dynamicznego	kG/m ²	Pa
Δp_c	spiętrzenie całkowite	kG/m	Pa
Δp_z	ciśnienie różnicowe na zwężce	kG/m ²	Pa
Δp_t	spadek ciśnienia w kanale	kG/m ²	Pa
p_o	opór sieci	kG/m ²	Pa
Q_m	wydajność masowa	kG s/m	kg/s ¹⁾
Q_v	wydajność objętościowa	m ³ /s	m ³ /s
r	spęż wentylatora	—	—
R	stała gazowa	—	J/kg
R^*	stała gazowa	kG m/kG°C	—
R_e	liczba Reynoldsa	—	—
Re_c	liczba Reynoldsa sondy spiętrzającej	—	—
t	temperatura	°C	—
T	temperatura bezwzględna	—	K
τ_c	użyteczny przyrost energii	m	J/kg
β	współczynnik sondy spiętrzającej	—	—
γ	ciężar właściwy czynnika	kG/m ³	—
η	sprawność wentylatora	%	%
η_i	sprawność wewnętrzna wentylatora	%	%
η_p	sprawność przekładni	%	%

cd tabl 1

Oznaczenie	Wielkość	Jednostki miar	
		układu technicznego	układu SI
1	2	3	4
η_r	sprawnosc ruchowa wentylatora	%	%
η_s	sprawnosc silnika	%	%
η_z	sprawnosc zespolu	%	%
ν	kinematyczny wspolczynnik lepkości	m ² /s ²	m ² /s ²
ω	prędkość kątowna	1/s	1/s
ρ	gęstość masy	—	kg/m ³
λ_k	liczba tarcia	—	—
κ	wykładnik izentropy	—	—
φ_w	wilgotność względna	%	%
σ	średni błąd względny	%	%
ζ	liczba oporu	—	—
Indeksy			
m	oznaczenie wielkości średnich		
n	wielkości odniesione do normalnych warunków fizycznych		
o	wielkości odniesione do warunków otoczenia		
x	oznaczenie wielkości dla dowolnego przekroju pomiarowego		
1	wielkości odniesione do płaszczyzny wlotu		
2	wielkości odniesione do płaszczyzny wylotu		

1) 1 kg/s = 0 102 kGs/m

2) 1 Pa = 0 102 kG/m²

W normie przedstawiono wzory obliczeniowe dla układu technicznego i dla międzynarodowego układu jednostek

2 POMIARY

2 1 Miejsce pomiarów Miejscem pomiarow aerodynamicznych wentylatora moze byc

- a) znormalizowane stoisko pomiarowe,
- b) nieznormalizowane stoisko pomiarowe,
- c) miejsce stałego zainstalowania wentylatora (tj przy kotle)

Ze względu na warunki przeprowadzenia po-
miarow dla dwoch ostatnich przypadkow, błędy
pomiarowe przekraczają na ogół wymagania doty-
czące dokładności pomiarow dla stoisk znormali-
zowanych (PN/M-43010-projekt)

2 2 Termin i wykonawca pomiarów — wg
BN-76/1388-05

2 3 Program pomiarów nalezy ustalic z zainte-
resowanymi (np z wytworcą i uzytkownikiem
wentylatora) przed rozpoczęciem pomiarow i po-
winien on zawierac dane dotyczące

- a) metod i przyrządow pomiarowych dla okre-
slenia wielkości charakterystycznych prac wenty-
latora (rozd 3) i błędow pomiaru,
- b) ilości pomiarow i wymaganych warunkow
ruchowych (np obciążenie kotła, sposob dławienia
przepływu, wyłączanie wentylatorow z automa-
tycznego układu regulacji),

- c) ilości i czasu trwania odczytow dla kazdego
pomiaru,
- d) usytuowania i wykonania wszystkich punk-
tow pomiarowych

2 4 Wielkości mierzone W celu wyznaczenia
wielkości charakterystycznych pracy wentylatora
nalezy zmierzyc

- ciśnienie otaczającego powietrza (ciśnienie
atmosferyczne),
- względne ciśnienie statyczne czynnika w
płaszczyźnie wlotu i wylotu wentylatora oraz w
przekroju pomiaru przepływu,
- ciśnienie dynamiczne przepływającego czyn-
nika lub jego prędkosc w miejscu pomiaru prze-
pływu,
- ciśnienie różnicowe na zwężce (w przypadku
pomiaru strumienia masy za pomocą zwężki),
- temperaturę otaczającego powietrza,
- temperaturę czynnika w płaszczyźnie wlotu
i wylotu wentylatora oraz w przekroju pomiaru
przepływu,
- wilgotnosc względną otaczającego powietrza
(w przypadku wentylatora z wolnym wlotem),
- skład chemiczny przepływającego czynnika
(dla gazow spalinyowych),
- prędkosc obrotową wirnika wentylatora,
- moment obrotowy lub moc przekazywaną
na wał wentylatora

2 5 Dobór przyrządów pomiarowych nalezy
przeprowadzic z uwzględnieniem zamierzonej do-
kładności wyników pomiarow oraz lokalnych wa-

runkow pomiarowych Zakres pomiarowy należy tak dobierać, aby zapewnić możliwie wysoką dokładność pomiarów

Wszystkie przyrządy użyte do pomiarów powinny być wzorcowane i mieć ważne dowody wzorcowania z zestawieniem poprawek, które należy uwzględnić w obliczeniach Przyrządy, których wskazania mogą zmienić się w czasie pomiaru (np anemometry, przetworniki ciśnienia) należy wzorcować przed i po pomiarze

Dopuszcza się zastosowanie przyrządów elektronicznych z przetwornikami różnego rodzaju tylko w przypadku istnienia możliwości kontroli wskazan przyrządów przez aparaturę pomiarową z odczytem bezpośrednim, zapewniającym wystarczającą dokładność To samo dotyczy przyrządów ruchomych zainstalowanych na stałe w instalacji

2 6 Ogólne warunki przeprowadzenia pomiarów

2 6 1 Dobór punktów pomiarowych jest zależny od miejsca przeprowadzenia pomiaru, a mianowicie

a) Dla wentylatora zainstalowanego przy kotle, punkty pomiarowe powinny być już uzgodnione podczas projektowania kanałów i instalacji wentylatora Przekroje pomiarowe, w których mierzy się wielkości charakterystyczne czynnika przepływającego (p 2 4) powinny być usytuowane jak najbliżej płaszczyzn wlotu i wylotu wentylatora (p 1 2 1) Jeżeli ze względu na lokalne warunki zabudowania wentylatora oraz z uwagi na zapewnienie odpowiedniej dokładności pomiaru ciśnienia i wydajności przekroje pomiarowe są oddalone od wentylatora, należy przeliczać wyniki pomiarów na płaszczyznę wlotu i wylotu uwzględniając

- opór przepływu instalacji od wentylatora do przekroju pomiarowego,
- zmianę temperatury przepływającego czynnika w rozpatrywanym odcinku instalacji,
- nieszczelności (lub rozptył strumienia masowego) w rozpatrywanym odcinku instalacji

b) Przy pomiarze wentylatora na stoisku nieznormalizowanym należy dążyć do zachowania wymaganych prostych odcinków pomiarowych (p 3 2 3) przed wlotem i na wlocie wentylatora Dla stoiska pomiarowego z wolnym wlotem należy zapewnić takie warunki przepływu w płaszczyźnie wlotowej wentylatora jakie panują w miejscu zainstalowania wentylatora W tym celu należy, w przypadkach uzasadnionych, przedłużyć kolano wlotowe (lub zainstalować kanał wlotowy) i wykonać wyoblenie otworu wlotowego (wg PN/M-43010-projekt)

Stoisko powinno być wyposażone w siłownik do napędu urządzenia regulacyjnego oraz w urządze-

nie dławiące Urządzenie dławiące nie może zakłócać warunków przepływu na wlocie do wentylatora

W przypadku pomiaru wydajności na stoisku za pomocą zwężki należy ją wzorcować w oparciu o dokładny pomiar ciśnienia dynamicznego w przekroju rurociągu pomiarowego (za kratą wyrównującą przepływ) Wzorcowanie należy wykonać przy każdej zmianie układu badanego wentylatora

Pomieszczenie, w którym znajduje się stoisko pomiarowe powinno być tak duże, aby mogły być spełnione warunki swobodnego dopływu i odpływu powietrza, a prędkość powietrza w pomieszczeniu była mniejsza niż 0,5 m/s (wg PN/M-43010-projekt)

W przypadku, gdy rurociąg tłoczny lub ssawny albo też całe stoisko znajduje się w nieobudowanej przestrzeni, należy zastosować osłonę wlotu lub wylotu rurociągu, aby na przepływ powietrza przez wentylator nie oddziaływały prądy powietrza zewnętrznego (wg PN/M-43010-projekt)

2 6 2 Przygotowanie wentylatora do pomiarów Przed wykonaniem pomiarów aerodynamicznych należy sprawdzać wymagania mechaniczne wg BN-76/1388-05

Wentylator oraz instalacja powinny być szczelne, wszystkie dodatkowe otwory (np otwór odwadniający) powinny być zaslepione

Bezpośrednio przed wykonaniem pomiarów, wentylator powinien pracować około pół godziny w celu ustalenia się równowagi cieplno-mechanicznej łożysk (należy sprawdzać ustalenie się temperatury łożysk)

2 6 3 Warunki pracy Podczas wykonywania pomiarów przy jednej wydajności wentylatora, urządzenie regulacyjne i urządzenie dławiące powinny być nieruchome, a regulacja automatyczna wyłączona W czasie wykonywania pomiarów wentylatorów, w miejscu ich stałego zainstalowania, urządzenie współpracujące z nimi (kocioł, młyn węglowy) powinno się znajdować w stanie równowagi cieplnej i ruchowej Nie należy w tym czasie wykonywać żadnych przełączeń i manipulacji w instalacji kotłowej, które mogłyby zakłócać pracę wentylatora Wskaznikiem ustalenia się równowagi termicznej może być stałość temperatury i ciśnienia dynamicznego przepływającego czynnika

2 6 4 Liczba punktów pracy wentylatora W celu ustalenia przebiegu charakterystyki dla jednego ustawienia elementu nastawczego urządzenia regulacyjnego należy wyznaczyć co najmniej 5 punktów pracy dzielących cały pomiarowy zakres wydajności na równe części W celu sprawdzenia wielkości charakterystycznych pracy wentylatora tylko dla jednego (uzgodnionego) punktu charak-

terystyki należy wykonać pomiary dla co najmniej 3 punktów pracy, leżących blisko punktu sprawdzanego

Dla wentylatorów z urządzeniem regulacyjnym, należy uzgodnić przed pomiarem kąty ustawienia łopatek lub kierownicy dla których powinno się wykonać charakterystykę. Kąty te powinny obejmować co najmniej cały roboczy zakres charakterystyki (BN-76/1388-05)

Jeżeli normalny zakres pracy wentylatora zainstalowanego przy kotle nie odpowiada punktom pracy uzgodnionym z wytworcą, należy stworzyć warunki dla uzyskania uzgodnionej wydajności i spiętrzenia. W tym celu należy zdławić przepływ zasuwami zainstalowanymi w kanale. Przy równoległej pracy wentylatorów można je obciążać asymetrycznie (w granicach zapewniających bezpieczną pracę kotła i wentylatorów). Można również stosować upust (lub przyssanie) powietrza dla uzyskania uzgodnionej wydajności. Zabiegi te nie mogą jednak zakłócać prawidłowych warunków napływu na koło wirnikowe oraz obniżać dokładności pomiarów. Jeżeli warunki ruchowe nie pozwalają na wyznaczenie wielkości charakterystycznych dla uzgodnionego punktu pracy należy je zmierzyć dla innego punktu, leżącego blisko uzgodnionego. W tym przypadku należy porównać wyniki pomiaru z charakterystyką aerodynamiczną dostarczoną przez wytwórcę wentylatora.

2.7 Odczyty wskazań przyrządów Odczyty wskazań wszystkich przyrządów należy przeprowadzać jednocześnie. Liczba odczytów dla jednego punktu pracy powinna wynosić co najmniej 3. Jeżeli czas trwania pomiaru jest uzależniony od czasu potrzebnego na sondowanie ciśnienia dynamicznego (i statycznego) należy przeprowadzać równocześnie odczyty innych wielkości w równych odstępach czasu co 3-5 min.

2.8 Pomiar próbny należy przeprowadzać w celu

— sprawdzenia wskazań przyrządów pomiarowych dla doboru właściwego zakresu skali,

— zapoznania personelu z tokiem przeprowadzania pomiarów i obsługą przyrządów pomiarowych,

— sprawdzenia wahań ciśnienia dynamicznego (i statycznego) w celu ewentualnego doboru innego przekroju pomiarowego, zapewniającego większą dokładność pomiaru,

— sprawdzenia stałości warunków ruchowych

3 METODY I PRZYRZĄDY POMIAROWE

3.1 Pomiar ciśnienia otoczenia (atmosferycznego) należy wykonać za pomocą barometru rtęciowego z podziałką milimetrową lub też barometru sprężynowego. Dla redukcji słupka rtęci barometru

wykonuje się równoczesny odczyt temperatury na termometrze wskazującym temperaturę rtęci (równą na ogół temperaturze powietrza). Redukcję wykonuje się w Pa (wzór 1a) i w kG/m^2 (wzór 1b) wg wzorów

$$P_o = b(1 - 0,000163 \cdot t) \cdot 13595 \cdot 9,81 \quad (1a)$$

$$P_o = b(1 - 0,000163 \cdot t) \cdot 13,595 \quad (1b)$$

w którym

b — wysokość słupka rtęci, m,

t — temperatura barometru, $^{\circ}\text{C}$

Pomiar ciśnienia otoczenia za pomocą barometru sprężynowego może być wykonany tylko przyrządem mającym kompensację temperatury

3.2 Pomiar ciśnienia przepływającego czynnika

3.2.1 Mierniki ciśnienia Do pomiaru ciśnienia należy stosować manometry cieczowe wypełnione wodą (zabarwioną), rtęcią, spirytusem skazonym lub też innym płynem o znanej gęstości (gęstość cieczy manometrycznych w zależności od temperatury podano w załączniku 4)

W zależności od dokładności pomiaru i zakresu ciśnienia, stosowane są manometry cieczowe dwuramienne (U-rurki) lub manometry bateryjne dla ciśnienia powyżej 1500 Pa (lub około 150 kG/m^2) oraz manometry pochyle (mikromanometry) dla niższego ciśnienia. Cieczowe manometry rurkowe nie powinny wykazywać włoskowatości przy stosowanych cieczach manometrycznych (dla wody średnica wewnętrzna U-rurki nie powinna być mniejsza od 8 mm). Przed i po pomiarze należy sprawdzić czy manometr nie jest zapowietrzony i czy menisk cieczy manometrycznej pokrywa się z punktem początkowym. Gęstość cieczy manometrycznej należy wyznaczyć dla temperatury otoczenia.

Obliczenie w Pa (wzór 2a) i w kG/m^2 (wzór 2b) względnego ciśnienia (p. 4.3.1) ze wskazań manometru należy wykonać wg wzoru

$$p = \pm \frac{l \cdot \rho_{cm} \cdot 9,81}{a} \quad (2a)$$

$$p = \pm \frac{l \cdot \gamma_{cm}}{a} \cdot 10^{-3} \quad (2b)$$

w którym

l — długość słupka cieczy manometrycznej m , (mm),

ρ_{cm} — gęstość cieczy manometrycznej, kg/m^3 ,

γ_{cm} — ciężar właściwy cieczy manometrycznej, kG/m^3 ,

a — przekładnia geometryczna manometru

$$a = \frac{1}{\sin \alpha}$$

gdzie α — kąt pochylenia rurki manometru względem poziomu

Zastosowanie innych typów mierników ciśnienia (przeponowych, sprężynowych itp.) jest możliwe tylko po uwzględnieniu uwag p. 2.5

3.2.2 Przewody impulsowe przekazujące impulsy ciśnienia do miernika należy wykonać zgodnie z PN-65/M-53950. Szczególną uwagę należy zwrócić na szczelność i drożność przewodów, którą powinno się systematycznie sprawdzać (stałość meniska cieczy manometrycznej może być wskaźnikiem niedrożności przewodów). Przy pomiarze czynnika zapyłonego należy przed każdym odczytem przedmuchiwać przewody. Przewody mogą być prowadzone z każdego miejsca poboru impulsu ciśnienia do indywidualnego miernika lub jednym przewodem przekazującym średnią wartość ciśnienia mierzonego w kilku punktach przekroju pomiarowego (p. 3.2.2). W ostatnim przypadku należy miejsca pomiaru ciśnienia połączyć elastycznym przewodem o równej długości ze zbiornikiem wyrównawczym, z którego średni impuls jest przekazywany jednym przewodem do miernika. Pole przekroju zbiornika powinno być co najmniej równe sumie pól otworów, w których mierzy się ciśnienie.

3.2.3 Miejsce poboru impulsu ciśnienia powinno cechować równą wartość ciśnienia statycznego w całym przekroju pomiarowym oraz równomierny rozkład prędkości. W związku z tym, nie należy mierzyć ciśnienia bezpośrednio za kolanami rurociągów, dyfuzorami, zasuwami ewentualnie przepustnicami oraz w miejscach, gdzie występują przepływy wtórne. Rozkład ciśnienia statycznego w przekroju powinien być zbadany za pomocą sondy ciśnienia statycznego lub sondy Prandt'a. W przypadku nierównego rozkładu ciśnienia należy odsunąć przekrój pomiarowy od źródła zaburzeń przepływu. W przypadku pomiaru ciśnienia na tłoczeniu wentylatora, odsunięcie przekroju pomiarowego od wylotu wentylatora o 2–4 średnice równoważne przewodu wystarcza na ogół dla poprawnego pomiaru ciśnienia.

Przy pomiarach na ssaniach należy wyznaczyć ciśnienie za kratką lub siatką prostującą przepływ (wymiały kratki wg PN/M-43010 Projekt), uwzględniając dodatkowy opór przepływu na karcie oraz na innych elementach rurociągu pomiarowego zgodnie z p. 4.6.

Ciśnienie na ssaniu wentylatora należy mierzyć w odległości 1–2 średnic równoważnych przed kierownicami wlotowymi (lub wlotem kolanowym).

Do odbioru impulsów ciśnienia statycznych należy stosować otwory impulsowe w ścianach przewodu lub sondy ciśnienia statycznego albo sondy Prandt'a. Pomiar za pomocą sondy zaleca się przeprowadzić (zgodnie z p. 3.7.3) w przypadku, gdy lokalne warunki zabudowania wentylatora

nie zapewniają wymaganych prostych odcinków kanału.

Otwory impulsowe w ścianach przewodu należy wykonać o średnicy 1,5–3 mm (większe wartości dla pomiaru czynnika zapyłonego), przy czym wewnętrzna krawędź otworu nie powinna wykazywać zadziorów i nierówności. Do ściany kanału, w miejscu rozmieszczenia otworu impulsowego, należy przypawać (spawem szczelnym) rurę o średnicy około 8 mm dla połączenia przewodu impulsowego.

Zaleca się wykonać na obwodzie przekroju pomiarowego co najmniej 4 otwory impulsowe, które należy rozmieścić równomiernie. Dla kanałów o przekroju prostokątnym otwory impulsowe powinny być wykonane w połowie szerokości ścianki. W przypadku znacznej różnicy szerokości ścian kanału ($B > 2C$) należy na ścianie o większej szerokości wykonać więcej otworów impulsowych, tak aby odległość między otworami wynosiła około C .

Różnica wskazań ciśnienia w tych punktach pomiarowych nie może być większa od około 50 Pa (około 5 kG/m²).

3.3 Pomiar temperatury przepływającego czynnika

3.3.1 Mierniki temperatury Do pomiaru temperatury czynnika należy stosować termometry rtęciowe lub — w zakresie wyższych temperatur i dla dużych przekrojów kanałów — termopary lub termometry oporowe.

Termometry rtęciowe powinny mieć działkę elementarną co najmniej 0,5 deg. Termopary powinny mieć stałą charakterystykę (wg PN-59/M-53854).

Termometry rtęciowe powinny być zainstalowane w tulejach termometrycznych, przy czym koniec słupka rtęci nie powinien wystawać na zewnątrz tulejki. Jeżeli słupek ten wystaje, należy uwzględnić poprawkę. Termopary i termometry oporowe mogą być zainstalowane w tulejach termometrycznych lub też bezpośrednio w kanale, jeżeli będzie zapewnione właściwe prowadzenie czujników i dokładne uszczelnienie miejsca zanurzenia czujnika.

3.3.2 Miejsce pomiaru temperatury Dla sprężu $r \leq 1,03$ wystarczającym jest pomiar temperatury w płaszczyźnie wlotu lub wylotu wentylatora lub w przekroju pomiarowym leżącym blisko tych płaszczyzn. Ze względu na dobre wymieszanie czynnika zaleca się w tym przypadku mierzyć temperaturę na wylocie z wentylatora.

Przy sprężu $r > 1,03$ należy mierzyć temperaturę w płaszczyznach wlotu i wylotu, w których wyznacza się ciśnienie na ssaniu i tłoczeniu wentylatora. Dla dużych przekrojów pomiarowych i nierównomiernego rozkładu temperatur (szczeg-

golnie na wlocie do wentylatora) należy mierzyć temperaturę w kilku miejscach przekroju i wyznaczyć średnią temperaturę. Przy wielopunktowym pomiarze temperatury, odległości między punktami pomiarowymi nie powinny przekraczać 0,7 m. Jeżeli przekrój pomiaru przepływu jest znacznie oddalony od wentylatora (p. 2.6.1), należy zmierzyć temperaturę także w tym przekroju.

3.4 Pomiar wilgotności powietrza należy wykonać wg BN-70/1380-04.

3.5 Pomiar składu chemicznego czynnika należy wykonać dla mieszaniny gazów spalinyowych za pomocą analizatora spalin typu Orsat. Spaliny należy pobierać na wylocie z wentylatora. Dla wyznaczenia ilości pary wodnej w gazach spalinyowych dopuszcza się stosowanie metody pośredniej, polegającej na bilansowaniu wody zawartej w spalonym paliwie. Należy w tym przypadku zapewnić szczelność części ciśnieniowej kotła. Pomiar ilości pary wodnej metodą bezpośrednią należy wykonać wg PN-72/M-34120.

3.6 Pomiar prędkości obrotowej należy wykonać wg PN/M-43010-projekt.

3.7 Pomiar wydajności wentylatora

3.7.1 Stosowane metody pomiaru wydajności Pomiar wydajności wentylatorów kotłowych można przeprowadzić następującymi metodami:

a) za pomocą zwęzek mierniczych znormalizowanych i zabudowanych zgodnie z PN-65/M-53950 lub zwęzkami nieznormalizowanymi, które przed pomiarem należy wzorcować,

b) na podstawie wyznaczenia średniej prędkości przepływu, pomiar prędkości przepływu należy wykonać za pomocą:

— sond spiętrzających typu Prandtl'a — dla prędkości przepływu zgodnie z p. 3.7.3,

— sond termoelektrycznych — dla prędkości przepływu od 0,5 do 5 m/s,

— anemometrów — dla prędkości przepływu od 2 do 20 m/s,

c) z bilansu masowego kotła parowego.

Przy każdej metodzie pomiaru należy wyznaczyć stan czynnika, ciśnienie, temperaturę, skład chemiczny w miejscu pomiaru wydajności lub w bezpośrednim sąsiedztwie tego miejsca (p. 3.3.2).

Ze względu na mniejszy błąd pomiarowy, należy dążyć do stosowania metody pomiarowej za pomocą zwęzek. Jednak z uwagi na warunki zabudowania wentylatora przy kotle oraz na trwały spadek ciśnienia na zwężce, dodatkowe zainstalowanie zwęzek pomiarowych jest zazwyczaj niemożliwe. Z tego względu, najczęściej stosowana jest metoda oparta na wyznaczeniu rozkładu prędkości w przekroju pomiarowym i obliczeniu średniej prędkości przepływu.

3.7.2 Pomiar za pomocą zwęzek należy wyko-

nać przy zastosowaniu zwęzek znormalizowanych zainstalowanych zgodnie z PN-65/M-53950.

Dla zwęzek nieznormalizowanych i dla zwęzek o zbyt krótkich odcinkach (np. mniejszych od około 10 średnic równoważnych za wentylatorem) należy stosować wzorcowanie zwęzek dla całego zakresu wydajności w oparciu o wyznaczenie średniej prędkości przepływu w kanale (p. 3.7.1b). Przy obliczeniu wydajności należy wówczas uwzględnić wartości z krzywej wzorcowania (nie należy w tym przypadku stosować jednej, średniej wartości liczby przepływu zwęzek).

3.7.3 Wyznaczanie prędkości przepływu za pomocą sondy spiętrzającej Sondą spiętrzającą Prandtl'a lub sondą innego typu mierzy się ciśnienie dynamiczne w danym punkcie przekroju pomiarowego. Prędkość przepływu (c) oblicza się w m/s ze wzoru

$$c = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho}} \quad (3a)$$

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81}{\gamma} p_d} \quad (3b)$$

w którym

p_d — ciśnienie dynamiczne, N/m² (kg/m²),

ρ — gęstość czynnika, kg/m³,

γ — ciężar właściwy czynnika, kg/m³.

Najbardziej rozpowszechnione są sondy haczykowate (Prandtl'a) oraz sondy cylindryczne (ryunki sond są przedstawione w załączniku 1). Zakres zastosowania jest ograniczony liczbą Reynoldsa sondy, którą wyznacza się ze wzoru

$$R_{ec} = \frac{c \cdot d_c}{\nu} \quad (4)$$

w którym

c — prędkość przepływu, m/s,

d_c — średnica czułki sondy, m,

ν — kinematyczny współczynnik lepkości, m²/s².

Zakres stosowania sond wynosi

— dla sondy Prandtl'a — $R_{ec} \geq 3000$,

— dla sondy cylindrycznej — $R_{ec} \geq 15000$.

Sondy cylindryczne są mniej czułe na skosny napływ czynnika i nadają się do pomiaru czynnika zapyłonego. W wykonaniu z otworami bocznymi, usytuowanymi pod kątem 45°, mogą one posłużyć do nastawienia sondy w kierunku napływu w płaszczyźnie prostopadłej do trzonu sondy.

Do wyznaczenia wektorów prędkości (i kąta przestrzennego) służą sondy kulowe z 5-ciooma otworami.

Sondę należy wzorcować i ustalić współczynnik sondy wg wzoru

$$\beta = \frac{p_d}{p_{drz}} \quad (5)$$

gdzie p_d , p_{drz} — ciśnienie dynamiczne zmierzone i rzeczywiste

Współczynnik sondy wynosi

dla sondy typu Prandtl'a $\beta \cong 1,0$,

dla sondy cylindrycznej $\beta \cong 2,0$

Warunkiem poprawnego pomiaru prędkości w kanale jest przepływ równoległy do ścianki kanału. Przy napływie skosnym występuje błąd pomiarowy, który dla sondy Prandtl'a jest pokazany w załączniku 2

W celu uzyskania wyrównanego przepływu, należy zachować następujące proste odcinki kanału

około $10 D_r$ — przed sondą spiętrzącą,

około $2 D_r$ — za sondą spiętrzącą,

gdzie D_r — średnica równowazna, obliczona ze wzoru 26c

Przy zastosowaniu kratek lub siatek prostujących przepływ (p 3 2 3) odcinki pomiarowe można skrócić. Przekrój pomiarowy powinien być możliwie jak najdalej odsunięty od wylotu wentylatora i, jeżeli istnieją odpowiednie warunki, należy przeprowadzić pomiar prędkości w kanale ssawnym. Przed przekrojem pomiarowym nie mogą się znajdować elementy konstrukcyjne, stwarzające zaburzenie przepływu (np rozporki, kompensatory, zwężki)

Jeżeli nie można zapewnić wymaganych prostych odcinków pomiarowych, zaleca się wyznaczyć średni kąt przestrzenny wektora prędkości, dla którego można ustalić błąd pomiaru (kąt przestrzenny można wyznaczyć za pomocą sondy kulowej). Kierunek wektora prędkości na wylocie z kanału można także w przybliżeniu ustalić za pomocą nici mocowanych do pręta

Przepływ nie powinien być pulsacyjny. Miara pulsacji może być wartość szybkościennego wahania menisku cieczy manometrycznej w mierniku ciśnienia podłączonego do sondy spiętrzącej. Jeżeli wartość ta jest mniejsza od 1,5%, ciśnienia dynamicznego można uważać przepływ za ustabilizowany

Wyznaczanie profilu oraz średniej prędkości w kanale należy wykonać zgodnie z 3 7 5. Należy zwracać uwagę, aby podczas sondowania odległość czułki sondy od ściany kanału była większa od 1,5 d_c

3 7 4 Wyznaczenie prędkości przepływu za pomocą anemometrów i sond termoelektrycznych
Za pomocą anemometrów i sond termoelektrycznych wyznacza się prędkość przepływu w danym miejscu przekroju pomiarowego. Stosowane są anemometry skrzydełkowe oraz czasowe o przeniesieniu mechanicznym i elektrycznym. Dla ane-

metrów wyposażonych w liczniki obrotów, potrzebny jest do wyznaczenia prędkości przepływu jednoczesny pomiar czasu. Zastosowanie anemometrów do pomiaru prędkości przepływu w kanale jest ograniczone rozmiarami kanału — średnica (lub długość ściany) kanału powinna być większa od 20 średnic anemometrów. Z tego względu do pomiarów w kanałach nie nadają się anemometry czasowe. Najmniejsza odległość anemometru od ścianki kanału powinna wynosić 0,75 średnicy anemometru

Średnią prędkość przepływu należy wyznaczyć zgodnie z 3 7 5 lub wykonując ruch jednostajny anemometrem wzdłuż linii pętlicowej powstałej z podziału szerokości kanału na pasma o równych polach. Dla tej metody pomiarowej należy wykonać dwa pomiary, których wyniki nie mogą się różnić więcej jak o 2%. Warunkiem poprawnego pomiaru jest przepływ równoległy (p 3 7 3). Przy napływie skosnym należy uwzględnić korektę ze wzorcowania anemometrów. Wzorcowanie to należy wykonać przed i po pomiarze

Pomiar prędkości przepływu za pomocą sondy termoelektrycznej należy wykonać zgodnie z instrukcją obsługi sondy. Przy gęstości (ciężarze właściwym) czynnika odbiegającej od gęstości stosowanej przy wzorcowaniu sondy należy uwzględnić korektę zgodnie z instrukcją przyrządu. Wpływ nieznacznych różnic gęstości oblicza się w m/s wg wzorów

$$c = c' \sqrt{\frac{\rho'}{\rho}} \quad (6a)$$

$$c = c' \sqrt{\frac{\gamma'}{\gamma}} \quad (6b)$$

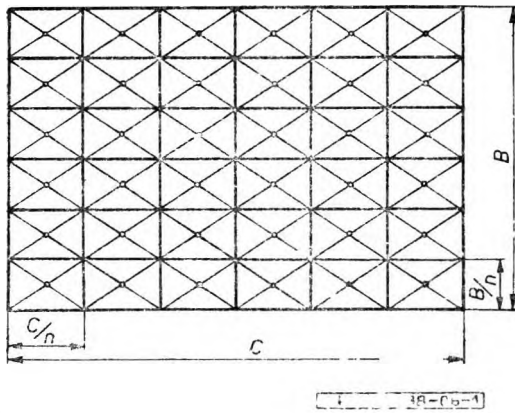
gdzie apostrofem oznaczono wielkości uzyskane podczas wzorcowania. Średnią prędkość przepływu należy wyznaczyć z 3 7 5

3 7 5 Wyznaczanie średniej prędkości przepływu
W kanale o przekroju prostokątnym lub okrągłym należy wyznaczyć prędkość przepływu w środkach ciężkości pól powstałych przez podział przekroju kanału na równe pola. Rys 1 przedstawia podział przekroju kanału prostokątnego, zaś rys 2 podział przekroju kanału okrągłego

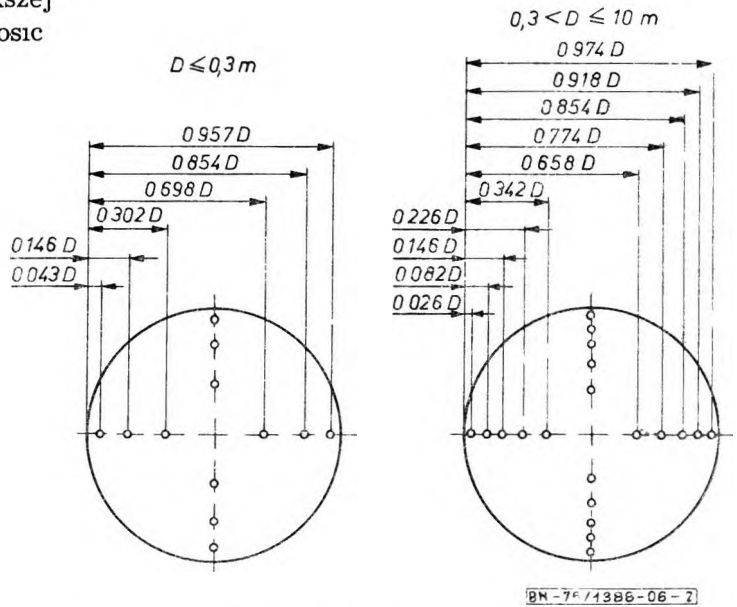
Dla przekroju prostokątnego optymalna liczba pól częściowych wynosi 36. Dla pola przekroju kanału prostokątnego mniejszego od 1 m² liczba pól częściowych może być mniejsza (np 25). Dla pola przekroju kanału $A > 6$ m², liczbę pól częściowych „z” należy wyznaczyć z zależności $z > 14 \sqrt{A}$

W kanale o przekroju kołowym liczba pierścieni koncentrycznych i o równych polach zależy od średnicy kanału. Rozmieszczenie punktów pomiarowych wzdłuż dwóch średnic kanału jest

przedstawione na rys 2 Dla średnicy D większej od 1 m liczba pierścieni i powinna wynosić $i \geq 5 D^{2/3}$



Rys 1 Rozmieszczenie punktów pomiarowych dla prostokątnego przekroju kanału



Rys 2 Rozmieszczenie punktów pomiarowych dla okrągłego przekroju kanału

Średnicę srodków ciężkości dla i pol można wyznaczyć w m wg wzoru

$$D_z = D \sqrt{1 - \frac{2z-1}{2i}} \quad (7a)$$

lub odległość srodków pol od sciany (wewnętrznej) kanału a_z wg wzoru

$$a_z = \frac{D}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2z-1}{2i}} \right] \quad (7b)$$

w którym

D — średnica, m,

z — kolejny numer pierścienia

Jezeli prędkość przepływu jest wyznaczona w srodkach ciężkości pol średnia prędkość przepływu w metrach na sekundę jest średnią arytmetyczną zgodnie ze wzorem

$$c_m = \frac{\sum_{k=1}^m c_k}{m} \quad (8)$$

W przypadku pomiaru prędkości w dowolnych punktach wzdłuż osi sondowania przekroju pomiarowego (zwykle w równych odstępach) można określić średnią prędkość w następujący sposób

a) po wykreśleniu profilu prędkości (wzdłuż średnicy lub sciany kanału) należy wyznaczyć punkty srodków ciężkości pol cząstkowych według wyżej podanych metod, odczytując następnie z tej krzywej prędkości dla punktów srodków ciężkości, należy obliczać średnią arytmetyczną prędkości wg wzoru 8,

b) dla przekroju prostokątnego należy wykre-

ślić profil prędkości wzdłuż poszczególnych osi sondowania i przez planimetrywanie powierzchni wykresów utworzyć średnią prędkość przepływu w osiach sondowania, następnie należy wykreślić profil średnich prędkości w osiach sondowania i z planimetrywania tego wykresu wyznaczyć średnią prędkość przepływu w kanale

Dla przekroju kołowego należy utworzyć średnią arytmetyczną 4 wartości prędkości zmierzonych na obwodzie jednego pierścienia koncentrycznego o promieniu r . Następnie należy wykresić zależność tych średnich prędkości $C = f(r_k^2)$ lub $c r_k = f(r_k)$ i planimetrywać powierzchnię powstałych w ten sposób wykresów. W celu otrzymania średniej prędkości należy w pierwszym przypadku wartość z planimetrywania podzielić przez r_k^2 , a w drugim przypadku przez $\frac{r_k^2}{2}$. Dla dokładnego pomiaru różnica wartości uzyskanych tymi dwoma metodami planimetrywania nie powinna być większa od $\pm 1\%$. Ze względu na oddziaływanie sciany kanału na pomiar prędkości (p 373, 374), należy profil prędkości w bliskiej odległości od sciany wykreślić w m/s stosując następujący wzór

$$C_x = C_a \left(\frac{x}{a} \right)^{1/7} \quad (9)$$

gdzie C_a — prędkość w punkcie sondowania leżącego najbliżej scianki tj w odległości a , m/s

Dla kontroli stałości obciążenia podczas sondowania przekroju, zaleca się zainstalować kontrolną sondę ciśnienia dynamicznego w srodku przekroju pomiarowego i skorygować prędkość prze-

plywu w zaleznosci od wskazania tej sondy zgodnie z PN/M-34010 Projekt

3 7 6 Wyznaczanie wydajności z bilansu kotła parowego W celu ustalenia wydajności wentylatorów spalin w warunkach normalnej eksploatacji, można ilość spalin wyznaczyć na podstawie bilansu kotła parowego (w przypadku braku możliwości pomiaru wydajności za pomocą sond spiętrzających) Metoda ta polega na ustaleniu ilości spalin w oparciu o pomiar wydajności cieplnej Q_D kotła, wartość opałową spalnego paliwa Q_u , sprawność kotła η_k oraz analizę spalin wykonaną za wentylatorem

Natężenie przepływu spalin dla warunków normalnych fizycznych (p 4 2) oblicza się w m^3/s wg wzoru

$$Q_n = \frac{Q_D (V_{ss} + V_w)}{\eta_k Q_u} \quad (10)$$

W powyższym wzorze użyto oznaczeń zgodnie z PN-72/M-34128 p 4 1 Objętość spalin suchych (V_{ss}) i pary wodnej (V_w) należy obliczyć na podstawie analizy spalin i analizy elementarnej paliwa wg PN-72/M-34128 Dla orientacyjnych przeliczeń objętość tę można również wyznaczyć z wykresu Boie'a podanego w załączniku 5 Przy wyznaczaniu ilości spalin z bilansu cieplnego kotła należy zapewnić szczelność obiegu parowo-wodnego kotła

3 8 Pomiar mocy

3 8 1 Pomiar bezpośredni polega na wyznaczeniu momentu obrotowego i prędkości obrotowej wału wentylatora, które służą do obliczania mocy Moment obrotowy można wyznaczyć

— Za pomocą dynamometrów skrętnych opartych na zasadzie optycznej lub elektrycznej (kął skręcania jest proporcjonalny do momentu obrotowego) Dynamometr skrętny należy umieścić między silnikiem napędowym a wałem wentylatora i z tego względu ta metoda nie jest na ogół stosowana przy pomiarach wentylatorów kotłowych

— Za pomocą dynamometru kołyskowego, stosowanego przede wszystkim na stoiskach badawczych

3 8 2 Pomiar pośredni polega na wyznaczeniu mocy wentylatora z mocy pobieranej przez silnik napędzający wentylator W przypadku silnika elektrycznego, należy dokonać pomiaru mocy elektrycznej pobieranej z sieci oraz innych wielkości elektrycznych (prąd i napięcie) Przyrządy należy podłączyć poprzez przekładniki pomiarowe o znanej przekładni i klasie zgodnie z ogólnymi wytycznymi podanymi w publikacjach (Informacje dodatkowe p 3) Dobór zakresu przyrządów elektrycznych powinien umożliwić odczyt wartości co najmniej w $3/4$ długości skali

Dla wyznaczenia mocy wentylatora należy uwzględnić straty mocy wyrażone w sprawności silnika η_s

Moc wentylatora należy obliczyć w watach (kW) ze wzoru

$$N = \eta_s N_{sp} \quad (11a)$$

w którym

N_{sp} — moc pobierana przez silnik, W (kW),

η_s — sprawność silnika

Sprawność silnika należy wyznaczyć zgodnie z PN-72/E-06000 w całym zakresie zmiany mocy

Przy pomiarach można również korzystać z krzywej sprawności silnika wyznaczonej przez wytwórcę silnika na stoisku Sprawność można wyznaczyć z danych znamionowych silnika, uwzględniając jej zmianę z obciążeniem silnika (wg Informacji dodatkowych p 3) Ten sposób wyznaczania sprawności jest obarczony większym błędem pomiarowym (w granicach 0,5—1%)

Jeżeli pomiędzy silnikiem i wałem wentylatora znajduje się stała przekładnia prędkości obrotowej lub inne urządzenie do zmiany prędkości obrotowej, należy uwzględnić straty mocy powstałe w tych urządzeniach Straty te ujmuje sprawność przekładni η_p podana w publikacjach albo w danych fabrycznych urządzenia Również i w tym przypadku należy uwzględnić zmianę sprawności przekładni z obciążeniem Moc wentylatora N , należy obliczyć w watach (kW) wg wzoru

$$N = \eta_s \eta_p N_{sp} \quad (11b)$$

4 OBLICZANIE WYNIKÓW POMIARÓW

4 1 Wielkości obliczane Dla wyznaczenia charakterystyki wentylatora wg p 1 3 14 jest konieczne obliczanie następujących wielkości charakterystycznych pracy wentylatora

- wydajności,
- spiętrzenia (lub użytecznego przyrostu energii),
- mocy,
- sprawności,

oraz wielkości charakterystycznych czynnika przepływającego i powietrza otaczającego

4 2 Gęstość ρ w kg/m^3 lub ciężar właściwy γ w kG/m^3 czynnika przepływającego należy obliczyć wg wzorów

$$\rho = \frac{P_s}{R T} \quad (12a)$$

$$\gamma = \frac{P_s}{R^* T} \quad (12b)$$

w których

P_s — bezwzględne ciśnienie statyczne,
Pa [kG/m²],

$R (R^*)$ — stała gazowa, $\frac{\text{N m}}{\text{kgK}}$, $\left(\frac{\text{kG m}}{\text{kgK}} \right)$,

T — temperatura bezwzględna czynnika

Temperaturę bezwzględną obliczoną w K określa zależność

$$T = 273,2 + t \quad (13)$$

gdzie t — temperatura czynnika, °C

Stała gazowa dla powietrza suchego wynosi

$$R = 287,1 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \frac{\text{m}}{\text{K}} \quad \text{lub} \quad R^* = 29,27 \frac{\text{kG}}{\text{kg}} \frac{\text{m}}{\text{K}}$$

Dla powietrza wilgotnego należy uwzględnić poprawkę f_R określoną wzorem

$$f_R = \frac{1}{1 - 0,378 \frac{P'}{P} \frac{\varphi_w}{100}} \quad (14)$$

w którym

P' — ciśnienie nasyconej pary wodnej,

P — bezwzględne ciśnienie statyczne czynnika,

φ_w — wilgotność (wyznaczona ze wskazan termometru suchego i wilgotnego, zgodnie z p 3 4), %

Stałą gazową R_w dla powietrza wilgotnego należy obliczyć ze wzoru

$$R_w = f_R R \quad (15a)$$

$$R_w^* = f_R R^* \quad (15b)$$

Gęstość lub ciężar właściwy powietrza wilgotnego można również wyznaczyć z wykresu podanego w załączniku 3

Jżeli czynnikiem przepływającym jest mieszanina gazów, to gęstość lub ciężar właściwy tej mieszaniny w warunkach normalnych fizycznych (10,12 10⁵ Pa, 273 K albo 10332 kG/m² 273 K) należy obliczyć wg wzorów

$$\varrho_n = (\varrho_{n1} U_{i1} + \varrho_{n2} U_{j2} + \dots) \quad (16a)$$

$$\gamma_n = (\gamma_{n1} U_{i1} + \gamma_{n2} U_{j2} + \dots) \quad (16b)$$

w którym

$\varrho_{ni}, \gamma_{ni}$ — gęstości poszczególnych gazów, kg/m³,

γ_{ni}, γ_{nj} — ciężary właściwe poszczególnych gazów, kG/m³,

U_i, U_j — udziały poszczególnych gazów w procentach objętości

Gęstość w kg/m³, ciężar właściwy (γ) gazu w kG/m³ przy bezwzględnym ciśnieniu statycz-

nym (P_s) i temperaturze (T) należy obliczyć wg wzorów

$$\varrho = \varrho_n \frac{273,2}{T} \frac{P_s}{101325} \quad (17a)$$

$$\gamma = \gamma_n \frac{273,2}{T} \frac{P_s}{10332} \quad (17b)$$

Ciężar właściwy¹⁾ spalin w warunkach normalnych fizycznych można obliczyć wg wzoru (16) lub wyznaczyć na podstawie wykresu podanego w załączniku 4 (dla wartości opałowej spalnego paliwa Q_w p 3 7 6)

Gęstość (ciężar właściwy) gazów zapyłonych należy obliczyć wg wzorów

$$\varrho_k = \varrho (1 + q) \quad (17c)$$

$$\gamma_k = \gamma (1 + q) \quad (17d)$$

gdzie q — koncentracja pyłu

4 3 Ciśnienie w przekroju pomiarowym

4 3 1 Ciśnienie bezwzględne W przekroju pomiarowym wyznacza się ciśnienie względem ciśnienia otoczenia P_o (p 3 1) Ciśnienie bezwzględne P w przekroju pomiarowym oblicza się w Pa, kG/m² wg wzoru

$$P = P_o \pm p \quad (18)$$

gdzie P_o — względne ciśnienie, Pa, kG/m²

4 3 2 Średnie względne ciśnienie statyczne (p_s) należy obliczyć w Pa, kG/m² jako średnią arytmetyczną wartości otrzymanych z sondowania przekroju pomiarowego wg wzoru

$$p_s = (\pm p_{s1} \pm p_{s2} \pm \dots \pm p_{sm}) \frac{1}{m} \quad (19)$$

4 3 3 Średnie ciśnienie dynamiczne należy obliczyć w Pa, kG/m² wg wzoru

$$p_d = \left[\left(\sqrt{p_{d1}} + \sqrt{p_{d2}} + \dots + \sqrt{p_{dm}} \right) \frac{1}{m} \right]^2 \quad (20)$$

gdzie $p_{d1} + p_{dm}$ — ciśnienie zmierzone w punktach przekroju pomiarowego zgodnie z p 3 7 5, Pa, kG/m²

Średnie ciśnienie dynamiczne w przekroju pomiarowym można również obliczyć w Pa lub kG/m² ze wzorów

$$p_d = \frac{\varrho}{2} \frac{c_m^2}{9,81} \quad (21a)$$

lub

$$p_d = \frac{\gamma}{2} \frac{c_m^2}{9,81} \quad (21b)$$

gdzie c_m — średnia prędkość przepływu, obliczo-

¹⁾ Ciężar właściwy jest równy liczbowo gęstości

na w m/s wyznaczona wg wzoru (8) lub z zależności

$$c_m = \frac{Q_{vx}}{A_x} \quad (22a)$$

$$c_m = \frac{Q_{mx}}{\varrho A_x} \quad (22b)$$

$$c_m = \frac{Q_{mx}}{\gamma A_x} \frac{9,81}{\gamma} \quad (22c)$$

w których

Q_{vx} — objętościowy strumień przepływu czynnika, m³/s, obliczony dla parametrów panujących w przekroju pomiarowym,

Q_{mx} — masowy strumień przepływu, kg/s (KG s/m),

A_x — pole przekroju pomiarowego x , m²,

ϱ — gęstość czynnika, kg/m³,

γ — ciężar właściwy czynnika, kG/m³

Obliczanie ciśnienia dynamicznego dla prędkości (c) w dowolnym punkcie przepływu wg wzoru (21) jest ściśle tylko dla stosunku wartości

$\frac{p_d}{p_s} \leq 0,01$ (P_s — bezwzględne ciśnienie statyczne)

Przy większych wartościach p_d , błąd wynikający z takiego obliczenia jest większy od 0,5%. W tym przypadku p_d należy obliczyć zgodnie z PN-75/M-43001

4.3.4 Średnie względne ciśnienie całkowite należy obliczyć w Pa, kG/m² wg wzoru

$$p_c = \pm p_s + p_d \quad (23)$$

4.4 Strumień przepływu czynnika dla dowolnego przekroju pomiarowego x należy obliczyć w kg/s (wzór 24a), w kGs/m (wzór 24b), w m³/s (wzór 24c) wg wzorów

$$Q_{mx} = \varrho c_m A_x \quad (24a)$$

$$Q_{mx} = \frac{\gamma c_m A_x}{9,81} \quad (24b)$$

$$Q_{vx} = c_m A_x \quad (24c)$$

gdzie c_m — średnia prędkość przepływu, m/s określona wg wzoru (8)

W przypadku pomiaru natężenia przepływu za pomocą znormalizowanych zwęzek należy stosować wzory obliczeniowe podane w PN-65/M-53950 uwzględniając ewentualną korektę liczby przepływu (wg PN/M-43010 — Projekt) dla skróconych odcinków pomiarowych

Przy wzorcowaniu zwęzek (p 3.7.2) należy wyznaczyć ze wzoru (24) rzeczywisty strumień masy przepływającego czynnika i utworzyć funkcję

$Q_m = f / \sqrt{\Delta p_z \varrho}$, w której ΔP_z oznacza ciśnienie różnicowe na zwężce

Strumień przepływu spalin z bilansu kotła parowego (p 3.7.6) należy wyznaczyć w kg/s (wzór 24d) i w m³/s (wzory 24e i f) z następujących wzorów

$$Q_{mx} = Q_n \varrho_n \quad (24d)$$

$$Q_{vx} = Q_n \frac{T}{273,2} \frac{101325}{P_s} \quad (24e)$$

$$Q_{vx} = Q_n \frac{T}{273,2} \frac{10332}{P_s} \quad (24f)$$

w których

Q_n — strumień przepływu spalin w warunkach normalnych fizycznych (wzór 10), m³/s,

ϱ_n — gęstość spalin w warunkach normalnych fizycznych (p 4.2), kg/m³,

T — temperatura w przekroju pomiarowym x , K,

P_s — ciśnienie bezwzględne statyczne, Pa, kG/m²

4.5 Wydajność wentylatora Wydajność masową wentylatora Q_m należy obliczyć ze wzoru (24a), uwzględniając jednocześnie uwagi p 2.6.1 dotyczące szczelności kanału od miejsca pomiaru strumienia masy do płaszczyzny wlotu wentylatora

Wydajność objętościową (Q_v) należy obliczyć w m³/s ze wzorów

$$Q_v = \frac{Q_m}{\varrho_1} \quad (25a)$$

$$Q_v = \frac{Q_m}{\gamma_1} \frac{9,81}{\gamma_1} \quad (25b)$$

w których

ϱ_1 — średnia gęstość czynnika w płaszczyźnie wlotu wentylatora, kg/m³,

γ_1 — średni ciężar właściwy czynnika w płaszczyźnie wlotu wentylatora, kG/m²,

Q_m — wydajność masowa wentylatora, kg/s (kG s/m)

4.6 Spadek ciśnienia pomiędzy przekrojem pomiarowym i wentylatorem Spadek ciśnienia w prostym odcinku przewodu, spowodowany oporem tarcia o ściany kanału należy obliczyć w Pa, kG/m² wg wzorów

$$\Delta p_t = \lambda_k \frac{L}{D_r} p_d \quad (26a)$$

lub

$$\Delta p_t = \zeta_L p_d \quad (26b)$$

w których

p_d — średnie ciśnienie dynamiczne, Pa, kG/m²,

λ_k — współczynnik tarcia o ściany przewodu. Orientacyjnie można przyjąć dla przewodu z blachy stalowej $\lambda_k = 0,02$,

ζ — liczba oporu dla przewodu prostego,

L — długość przewodu, m,

D_r — średnica równoważna, m

Dla przekroju prostokątnego o długości boków B i C , średnicę równoważną należy obliczyć w m ze wzoru

$$D_r = \frac{2B}{B+C} C \quad (26c)$$

Spadek ciśnienia na kształtkach kanału należy obliczyć w Pa, kG/m^2 wg wzoru

$$\Delta p_t = \zeta_k p_d \quad (26d)$$

gdzie ζ_k — współczynnik oporu kształtek określony w PN-65/G-04161 (dla kraty prostującej $\zeta_k = 0,08$)

4.7 Spiętrzenie statyczne należy obliczyć w Pa, kG/m^2 wg wzoru

$$\Delta p_s = (\pm p_{s2}) - (\pm p_{s1}) = P_{s2} - P_{s1} \quad (27)$$

w którym indeksem 1 oznaczono płaszczyznę wlotu zas indeksem 2 płaszczyznę wylotu wentylatora (p 1 2 1 i 1 2 2)

Jeżeli wentylator tłoczy czynnik bezpośrednio do otoczenia, to bezwzględne ciśnienie statyczne w płaszczyźnie wylotu równa się ciśnieniu otoczenia $P_{s2} = P_o$, zaś względne ciśnienie statyczne jest równe zero

4.8 Spiętrzenie dynamiczne między płaszczyzną wlotu i wylotu wentylatora należy obliczyć w Pa, kG/m^2 wg wzoru

$$\Delta p_d = p_{d2} - p_{d1} \quad (28)$$

Średnie ciśnienie dynamiczne p_d należy wyznaczyć ze wzoru (20) lub (21)

Jeżeli średnie ciśnienie dynamiczne zostało wyznaczone w innym przekroju pomiarowym x niż w płaszczyźnie wlotu (lub wylotu) wentylatora można je zredukować na te płaszczyzny, stosując następujące wzory obliczone w Pa (wzór 29a), lub w kG/m^2 (wzór 29b)

$$p_d = p_{dx} \frac{\varrho_x \left(\frac{A_x}{A} \right)^2}{\varrho} \quad (29a)$$

$$p_d = p_{dx} \frac{\gamma_x \left(\frac{A_x}{A} \right)^2}{\gamma} \quad (29b)$$

w których $\varrho(\gamma)$ oznacza średnią gęstość (ciężar właściwy) w płaszczyźnie wlotu lub wylotu A wentylatora. Wzoru (29) nie można stosować w przypadku występowania nieszczelności na odcinku kanału od przekroju pomiarowego do płaszczyzny wlotu (lub wylotu) wentylatora

Wzór (29) należy stosować również w przypadku wyznaczenia ciśnienia dynamicznego w płaszczyźnie wylotu wentylatora przy znanym ciśnieniu dynamicznym w płaszczyźnie wlotu. Dla sprężu wen-

tylatora $r \leq 1,01$, można przyjąć, że $\varrho_1 = \varrho_2$ lub $\gamma_1 = \gamma_2$ i obliczyć w kG/m^2 , Pa w tym przypadku ciśnienie dynamiczne w płaszczyźnie wylotu ze wzoru

$$p_{d2} = p_{d1} \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \quad (29c)$$

4.9 Spiętrzenie całkowite należy obliczyć w Pa, kG/m^2 wg wzoru

$$\Delta p_c = \Delta p_s + \Delta p_d \quad (30a)$$

lub

$$\Delta p_c = (\pm p_{c2}) - (\pm p_{c1}) = P_{c2} - P_{c1} \quad (30b)$$

Jeżeli wentylator zasysa czynnik z otoczenia to bezwzględne ciśnienie całkowite w płaszczyźnie wlotu równa się ciśnieniu otoczenia (lub ciśnienie całkowite równa się zero)

W przypadku wyznaczenia ciśnienia całkowitego p_{cx} dla przekroju oddalonego od płaszczyzny wlotu lub wylotu wentylatora, należy obliczyć w Pa, kG/m^2 wartość względnego całkowitego ciśnienia w tych płaszczyznach odniesienia stosując wzór

$$p_c = p_{cx} + \sum \Delta p_t \quad (31)$$

gdzie p_t — suma oporów przepływu (obliczonych wg wzoru 26) na odcinku kanału od przekroju pomiarowego do płaszczyzny odniesienia, kG/m^2 , Pa

4.10 Spręż wentylatora należy obliczyć wg wzoru

$$r = \frac{P_{s2}}{P_{s1}} \quad (32)$$

4.11 Użyteczny przyrost energii statycznej jest określony w J/kg $= \frac{\text{Nm}}{\text{kg}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$ wg wzoru

$$\Delta e_s = \frac{P_{s1}}{\varrho_1(\kappa - 1)} (r^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 1) \quad (33a)$$

w którym

P_{s1} , P_{s2} — średnie ciśnienie statyczne bezwzględne w płaszczyźnie wlotu lub wylotu, kG/m^2 , Pa,

ϱ_1 — średnia gęstość masy czynnika w płaszczyźnie wlotu wentylatora, kg/m^3 ,

κ — wykładnik izentropy (dla powietrza $\kappa = 1,4$)

Dla sprężow $r > 1,1$ wykładnik izentropy we wzorze (33) należy zastąpić wykładnikiem politropy n_p

Dla praktycznych celów, wzór (33a) można obliczyć w J/kg i m i przedstawić następująco

$$\Delta e_s = \frac{\Delta p_s}{\rho_1} f \quad (33b)$$

$$\Delta e_s = \frac{\Delta p_s}{p_1} f \quad (33c)$$

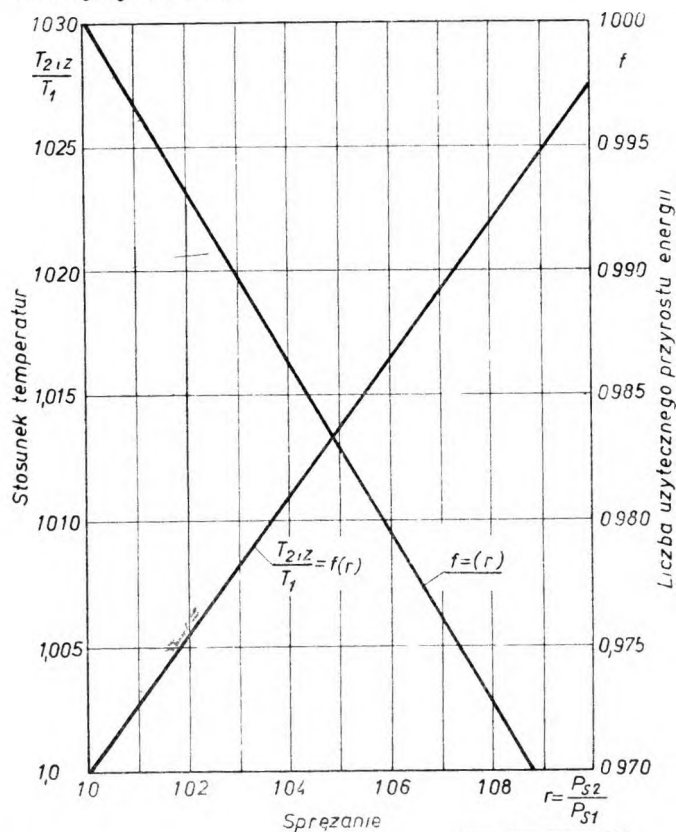
Liczbę użytecznego przyrostu energii f można wyznaczyć z rys 3 lub z następującej uproszczonej zależności

$$f = 1 - \frac{\Delta p_s}{2\kappa P_{s1}} \quad (34a)$$

Dla powietrza liczba użytecznego przyrostu energii wynosi w przybliżeniu

$$f_{pow} = 1 - 0,36 \frac{\Delta p_s}{P_{s1}} \quad (34b)$$

Przy sprężach $r \leq 1,03$, pominięcie w obliczeniach wpływu ściśliwości czynnika powoduje błąd mniejszy od 1%



Rys 3 Liczba użytecznego przyrostu energii i stosunek temperatur bezwzględnych dla izentropowego sprężania gazu o wykładniku $\kappa=1,4$

4 12 Użyteczny przyrost energii dynamicznej

należy obliczyć w J/kg $\frac{Nm}{kg} = \frac{m^2}{s^2}$ (wzór 35a)

i w $\frac{kGm}{kG} = m$ (wzór 35b) wg wzorów

$$\Delta e_d = -\left(\frac{\bar{c}_2^2}{2}\right) - \left(\frac{\bar{c}_1^2}{2}\right) \quad (35a)$$

$$\Delta e_d = \frac{1}{9,81} \left[\left(\frac{\bar{c}_2^2}{2}\right) - \left(\frac{\bar{c}_1^2}{2}\right) \right] \quad (35b)$$

Wielkość $\left(\frac{\bar{c}^2}{2}\right)$ należy obliczyć jako średnią energetyczną zgodnie z PN-75/M-43001. Dla małej różnicy wartości prędkości $\bar{c}_2$ i $\bar{c}_1$ i małego udziału Δe w użytecznym przyroście energii, średnią prędkość $\bar{c}$ można wyznaczyć wg wzoru (8) lub (22)

4 13 Użyteczny przyrost energii należy obliczyć w J/kg (m) wg wzoru

$$\Delta e_c = \Delta e_s + \Delta e_d \quad (36)$$

4 14 Moc użyteczna jest obliczona w W (wzór 37a) i w kW (wzór 37b) oraz określona wzorami

$$N_u = Q_m \Delta e_c = Q_v \rho_1 \Delta e_c \quad (37a)$$

$$N_u = \frac{Q_m}{102} \frac{9,81}{\gamma_1} \Delta e_c = \frac{Q_v}{102} \frac{\gamma_1}{102} \Delta e_c \quad (37b)$$

w których

Q_m — wydajność masowa wentylatora, kg/s (kG s/m),

Δe — użyteczny przyrost energii, J/kg (m),

ρ_1 — średnia gęstość czynnika w płaszczyźnie wlotu, kg/m³,

γ — średni ciężar właściwy w płaszczyźnie wlotu, kG/m³

Zgodnie z p 4 10, dla sprężu $r \leq 1,03$, moc użyteczną określa wyrażenie przybliżone w W (wzór 37c) i w kW (wzór 37d)

$$N_u = Q_m \frac{\Delta p_c}{\rho_1} = Q_v \Delta p_c \quad (37c)$$

$$N_u = \frac{Q_m}{102} \frac{9,81}{\gamma_1} \Delta p_c = \frac{Q_v}{102} \frac{\Delta p_c}{102} \quad (37d)$$

gdzie Δp_c — ciśnienie całkowite wentylatora Pa, kG/m²

4 15 Moc wentylatora dla bezpośredniej metody pomiaru (p 3 8 1) na wale wentylatora należy obliczyć w W (wzór 38a) i kW (wzór 38b) wg wzoru

$$N = M \omega \quad (38a)$$

$$N = \frac{M}{975} n \quad (38b)$$

w którym

M — moment obrotowy na wale wentylatora, N m (kG m),

ω — prędkość kątowna wału, 1/s,

n — prędkość obrotowa wału, 1/min

Dla pośredniej metody pomiaru, moc na wale wentylatora należy obliczyć wg wzoru (11)

4 16 Sprawność wentylatora należy obliczyć w % wg wzoru

$$\eta = \frac{N_u}{N} 100 \quad (39)$$

4 17 Sprawność wewnętrzna w % wg wzoru

$$\eta_i = \frac{N_u}{N - N_R} \cdot 100 \quad (40)$$

w którym

 N_u — moc użyteczna, W (kW), N — moc wentylatora, W (kW), N_R — suma straty mocy wywołanej tarcieniem w łożyskach wentylatora oraz mocy pobieranej bezpośrednio z wału wentylatora przez urządzenia pomocnicze (p 1 3 7), W (kW)**4 18 Sprawność zespołu (η_z) należy obliczyć w % wg wzorów**

$$\eta_z = \frac{N_u}{N_{sp}} \cdot 100 \quad (41a)$$

$$\eta_z = \eta \cdot \eta_p \cdot \eta_s \cdot 100 \quad (41b)$$

w których

 N_{sp} — moc pobierana przez silnik, W (kW), η — sprawność wentylatora, η_p — sprawność przekładni, η_s — sprawność silnika**4 19 Sprawność ruchowa** Sprawność ruchową należy obliczyć w % wg wzoru

$$\eta_r = \frac{N_u - \Delta N}{N} \cdot 100 \quad (42)$$

w którym ΔN — strata mocy na zasuwie regulacyjnej ewentualnie przepustnicy (p 1 3 9), W (kW)

Stratę mocy na zasuwie regulacyjnej ewentualnie przepustnicy należy obliczyć w W (wzór 43a) i kW (wzór 43b) wg wzorów

$$\Delta N = Q_v (\Delta p_{kl} - \Delta p_{kl \ 100}) \quad (43a)$$

$$\Delta N = \frac{Q_v (\Delta p_{kl} - \Delta p_{kl \ 100})}{102} \quad (43b)$$

w których

 Δp_{kl} — całkowity spadek ciśnienia na zasuwie regulacyjnej, Pa, kG/m², $\Delta p_{kl \ 100}$ — spadek ciśnienia na zasuwie regulacyjnej przy jej pełnym otwarciu, Pa, kG/m²

Spadek ciśnienia na zasuwie regulacyjnej należy wyznaczyć z pomiaru lub obliczyć wg wzoru (26b)

4 20 Opór sieci należy obliczyć w Pa, kG/m² wg wzoru

$$\Delta p_o = \sum p_c - (p_{kl} - \Delta p_{kl \ 100}) \quad (44a)$$

w którym

 $\sum p_c$ — suma spadków ciśnienia całkowitego bezwzględnego, Pa, kG/m², $(\Delta p_{kl} - \Delta p_{kl \ 100})$ — spadek ciśnienia na zasuwie regulacyjnej, Pa, kG/m²Zgodnie z p 1 3 11 dla wentylatorów z urządzeniem regulacyjnym $\Delta p_o = \Delta p_c$, Pa, kG/m² (44b)**4 21 Dysza równowazna** jest określona i obliczona w m² wg wzorów

$$A_r = \frac{Q_v}{1,2 \Delta p_o \varrho} \quad (45a)$$

$$A_r = \frac{Q_v}{1,2 \sqrt{9,81 p_o \gamma}} \quad (45b)$$

w których

 Δp_o — opór sieci, kG/m², Pa, Q_v — wydajność objętościowa, m³/s, ϱ — gęstość czynnika, kg/m³, γ — ciężar właściwy czynnika, kG/m³

Dysza równowazna charakteryzuje opory sieci zmieniające się z wydajnością wg paraboli. Opory sieci instalacji kotłowej zmieniają się z wydajnością wentylatora wg wykładnika potęgowego mniejszego od 2. W tych przypadkach nie należy stosować pojęcia dyszy równowaznej dla scharakteryzowania oporów sieci.

4 22 Końcowa temperatura sprężenia Temperaturę czynnika w płaszczyźnie wylotu wentylatora można obliczyć w K wg wzoru

$$T_2 = T_1 \cdot r^{\frac{n_p - 1}{n_p}} \quad (46a)$$

w którym

 T_1 — temperatura bezwzględna w płaszczyźnie wlotu wentylatora, K, n_p — wykładnik politropyZgodnie z p 4 11, dla sprężu $r \leq 1,1$ wykładnik politropy można zastąpić wykładnikiem izentropii κ . Jednak w tym przypadku obliczona temperatura jest niższa od rzeczywistej (np dla $r = 1,03$ różnica temperatury wynosi około 1 deg)

Kończącą temperaturę sprężenia można również wyznaczyć z rys 3

Temperaturę w płaszczyźnie wlotu wentylatora można obliczyć w kelwinach przy znanej temperaturze w płaszczyźnie wylotu, ze wzoru

$$T_1 = \frac{T_2}{r^{\frac{n_p - 1}{n_p}}} \quad (46b)$$

4 23 Zredukowane wielkości charakterystyczne pracy wentylatora Przy zmianie prędkości obrotowej wentylatora i gęstości (ciężaru właściwego) czynnika, wielkości charakterystyczne pracy należy zredukować wg następujących wzorów. wydajność objętościową należy obliczyć w m³/s

$$Q' = Q_v \frac{n'}{n} \quad (47)$$

wydajność masową należy obliczyć w kg/s

$$Q'_m = Q_m \frac{n'}{n} \frac{\varrho'}{\varrho} \quad (48)$$

spiętrzenie całkowite należy obliczyć w Pa i w kG/m²

$$\Delta p'_c = \Delta p_c \left(\frac{n'}{n} \right)^2 \frac{\varrho'}{\varrho} \quad (49a)$$

$$\Delta p'_c = \Delta p_c \left(\frac{n'}{n} \right)^2 \frac{\gamma'}{\gamma} \quad (49b)$$

użyteczny przyrost energii należy obliczyć w J/kg/m

$$\Delta e'_c = \Delta e_c \left(\frac{n'}{n} \right)^2 \quad (50)$$

moc użyteczną należy obliczyć w W i w kW

$$N'_u = N_u \left(\frac{n'}{n} \right)^3 \frac{\varrho'}{\varrho} \quad (51a)$$

$$N'_u = N_u \left(\frac{n'}{n} \right)^3 \frac{\gamma'}{\gamma} \quad (51b)$$

moc wentylatora należy obliczyć w W i w kW

$$N' = N \left(\frac{n'}{n} \right)^3 \frac{\varrho'}{\varrho} \quad (52a)$$

$$N' = N \left(\frac{n'}{n} \right)^3 \frac{\gamma'}{\gamma} \quad (52b)$$

Wzory powyższe można stosować w przypadku małych zmian prędkości obrotowej i gęstości (ciężaru właściwego), dla których wpływ liczby Reynoldsa jest pomijalny i sprawność wentylatora nie ulega zmianie¹⁾ Dla sprężow $r > 1,03$, dla których należy uwzględnić wpływ ściśliwości czynnika, nie można stosować wzoru (49) na redukcję spiętrzenia całkowitego. W tym przypadku należy obliczyć spiętrzenie wentylatora ze zredukowanej wartości użytecznego przyrostu energii.

4 24 Wskaźniki bezwymiarowe wentylatora
Wielkości charakterystyczne pracy wentylatora można przedstawić w formie następujących bezwymiarowych wskaźników (wg PN-75/M-43001) wskaźnik wydajności objętościowej

$$\varphi = \frac{4}{\pi} \frac{Q_v}{D_k^2 u_k} \quad (53)$$

wskaźnik spiętrzenia

$$\psi = \frac{\Delta e_c}{\frac{1}{2} U_k^2}, \quad \left(\psi = \frac{\Delta e_c}{\frac{1}{2} \frac{1}{9,81} u_k^2} \right) \quad (54)$$

lub dla $r \leq 1,03$

$$\psi = \frac{\Delta p_c}{\frac{1}{2} \varrho u_k^2}, \quad \left(\psi = \frac{\Delta p_c}{\frac{1}{2} \frac{1}{9,81} \gamma U_k^2} \right) \quad (55)$$

wskaźnik mocy

$$\lambda = \frac{\varphi}{\eta} \psi \quad (56)$$

w których

D_k — średnica zewnętrzna koła wirnikowego, m,

u_k — prędkość obwodowa koła wirnikowego, m/s,

ϱ, γ — średnia gęstość (ciężar właściwy), w płaszczyźnie wlotu wentylatora, kg/m³, (kG/m³),

Q_v — wydajność objętościowa, m³/s,

Δe_c — użyteczny przyrost energii, J/kg (m),

Δp_c — spiętrzenie całkowite, kG/m², Pa,

η — sprawność wentylatora

4 25 Wykres charakterystyki aerodynamicznej
należy wykonać zgodnie z p 1 2 15, przy uwzględnieniu jednego z następujących zespołów zależności

a) $\Delta e_c, N, \eta$ w funkcji Q_m ,

b) $\Delta p_c, N, \eta$ w funkcji Q_v ,

c) ψ, λ, η w funkcji φ

Niezależnie od wyżej podanych zależności podstawowych można nanieść na wykres charakterystyki również takie zależności jak

$$\Delta p_o = f(Q_v) \quad \eta_z = f(Q_v), \quad \eta_r = f(Q_v),$$

Wybor tych dodatkowych funkcji jest zależny od typu wentylatora oraz rodzaju pomiaru (np dla wentylatora z urządzeniem regulacyjnym przebieg krzywej sieci $\Delta p_o = f(Q_v)$ określa jednoznacznie zmianę sprawności ruchowej $\eta_r = f(Q_v)$)

Charakterystykę należy wykresić metodą najmniejszych kwadratów, prowadząc linię ciągłą między zbior punktów przedstawiających zmierzane wielkości

Charakterystykę należy wykonać dla zredukowanych (wg p 4 24) wielkości, podając jednocześnie na wykresie wartości stałej prędkości obrotowej i gęstości (ciężaru właściwego). Ponadto należy podać na wykresie charakterystyki aerodynamicznej typ wentylatora oraz jego oznaczenie i miejsce zainstalowania

Dla wentylatora z urządzeniem regulacyjnym, charakterystyki powinny być wykonane przy kilku położeniach łopatek lub kierownic (p 2 6). W tym przypadku należy nanieść na charakterystykę spiętrzenia (lub użytecznego przyrostu energii) tzw. krzywe (muszlowe) stałych sprawności oraz zaznaczyć zakres roboczy charakterystyki (p 2 6 4)

¹⁾ Zmiana stosunku liczb Reynoldsa w zakresie 0,7—1,5 powoduje zmianę sprawności od około +1 do -1% (PN/M-43010 Projekt)

Na wykresie charakterystyk należy zaznaczyć punkt pracy wentylatora (p 1216) oraz uzgodnione z wytworcą wielkości charakterystyczne pracy wentylatora. W tym przypadku należy zredukować wielkości charakterystyczne do warunków (Q , n) określonych przez wytworcę.

Dla obrazowego przedstawienia zmiany wielkości charakterystycznych pracy wentylatora można je podać na wykresie w postaci względnych wartości, odniesionych do punktu pracy o najwyższej sprawności.

4.26 Błędy pomiarów

4.26.1 Ogólne zasady obliczania błędów Pomiar wentylatora jest obarczony błędem spowodowanym

a) błędem wyznaczenia średniej wartości odczytów (uwzględniający wahania wielkości odczytanej),

b) dokładnością (klasą) przyrządu pomiarowego,

c) błędem wyznaczenia stałych przyrządów,

d) błędem wyznaczenia stałych fizycznych,

e) niedokładnością przeliczeń wielkości na podstawie wykresów i wzorów.

Orientacyjne wartości pierwszych trzech rodzajów błędów dla pomiaru wykonanego zgodnie z wytycznymi normy podaje tabl. I—1 w Informacjach dodatkowych. Zaleca się uzgodnić z zainteresowanymi błęd pomiaru przed pomiarem i sprawdzić jego wartość po pomiarze. Dokładny sposób obliczania średnich kwadratowych błędów względnych pomiaru podaje PN/M-43010 — Projekt. Dla przybliżonych obliczeń można stosować wzory podane w Informacjach dodatkowych (wzór I-5). Wartości błędów należy wyrazić liczbą z dwiema cyframi znaczącymi.

4.26.2 Wyniki pomiarów z uwzględnieniem błędów pomiarów Na podstawie średnich błędów względnych pomiarów σ , obliczonych dla zredukowanych wielkości charakterystycznych pracy wentylatora, wyznacza się błędy całkowite wg następujących wzorów:

— dla wydajności objętościowej obliczone w m^3/s

$$f_{Q_v} = \pm \frac{\sigma_{Q_v}}{100} Q_v \quad (57a)$$

— dla wydajności masowej obliczone w kg/s (kg/m^3)

$$f_{Q_m} = \pm \frac{\sigma_{Q_m}}{100} Q_m \quad (57b)$$

— dla ciśnienia całkowitego obliczone w N/m^2 (kg/m^2)

$$f_p = \pm \frac{\sigma_{\Delta p'}}{100} \Delta p' \quad (58)$$

dla użytecznego przyrostu energii obliczone w J/kg (m)

$$f_{\Delta e} = \pm \frac{\sigma_{\Delta e}}{100} \Delta e_c \quad (59)$$

dla mocy wentylatora obliczone w W (kW)

$$f_N = \pm \frac{\sigma_N}{100} N' \quad (60)$$

dla sprawności wentylatora obliczone w $\%$

$$f_\eta = \pm \frac{\sigma_\eta}{100} \eta \quad (61)$$

Dla przedstawienia błędów całkowitych na wykresie należy na krzywą przedstawiającą charakterystykę aerodynamiczną (p. 4.26) nanieść środki prostokątów o podstawie $2f_Q$ i wysokości odpowiednio $2f_{\Delta p_c}$ lub $2f_{\Delta e}$, $2f_N$, $2f_\eta$. Środki prostokątów powinny odpowiadać wydajnościom zmierzonych punktów pracy, lecz zgodnie z p. 4.26 nie muszą się pokrywać z tymi punktami. Łącząc obwiednią (Informacje dodatkowe rys. 2) górne i dolne punkty stykające prostokątów, otrzymuje się pole rozrzutu punktów pracy (pole błędów pomiarowych). Punkty pracy leżące na zewnątrz tego pola należy odrzucić (w przypadku pomiarów dokładnych ilość punktów odrzuconych nie może przekraczać 25% wszystkich zmierzonych punktów).

Dla wentylatorów z urządzeniem regulacyjnym należy stosować interpolację dla wyznaczenia pola rozrzutu punktów pracy dla mocy i sprawności zgodnie z PN/M-34131 Projekt.

5 PROTOKÓŁ Z POMIARÓW

Wyniki pomiarów należy ująć w protokole, który powinien zawierać:

a) oznaczenie wentylatora i miejsce przeprowadzenia pomiarów,

b) cel i zakres pomiarów,

c) datę oraz nazwiska wykonawcy pomiarów i przedstawicieli zainteresowanych stron współuczestniczących w pomiarach,

d) opis badanego obiektu, dane znamionowe wentylatora oraz uwagi dotyczące współpracy badanego wentylatora z innymi urządzeniami,

e) protokół wstępny pomiarów,

f) opis pomiarów (opis stosowanych metod pomiarowych i użytych przyrządów, ewentualnie schemat układu pomiarowego, sposoby obliczania wyników z powołaniem się na normy, uzgodnione z zainteresowanymi wzory obliczeniowe itp.),

g) zestawienie wartości odczytanych z przyrządów i wyników obliczeń,

- h) wykres charakterystyki aerodynamicznej z uwzględnieniem błędów pomiarów (i tolerancji wykonania wg BN-76/1388-05), charakterystycznych prac wentylatora oraz wnioski dotyczące wentylatora i instalacji obsługiwanej przez niego,
- i) ocenę dotrzymania znamionowych wielkości j) podpisy osób wymienionych w poz c)

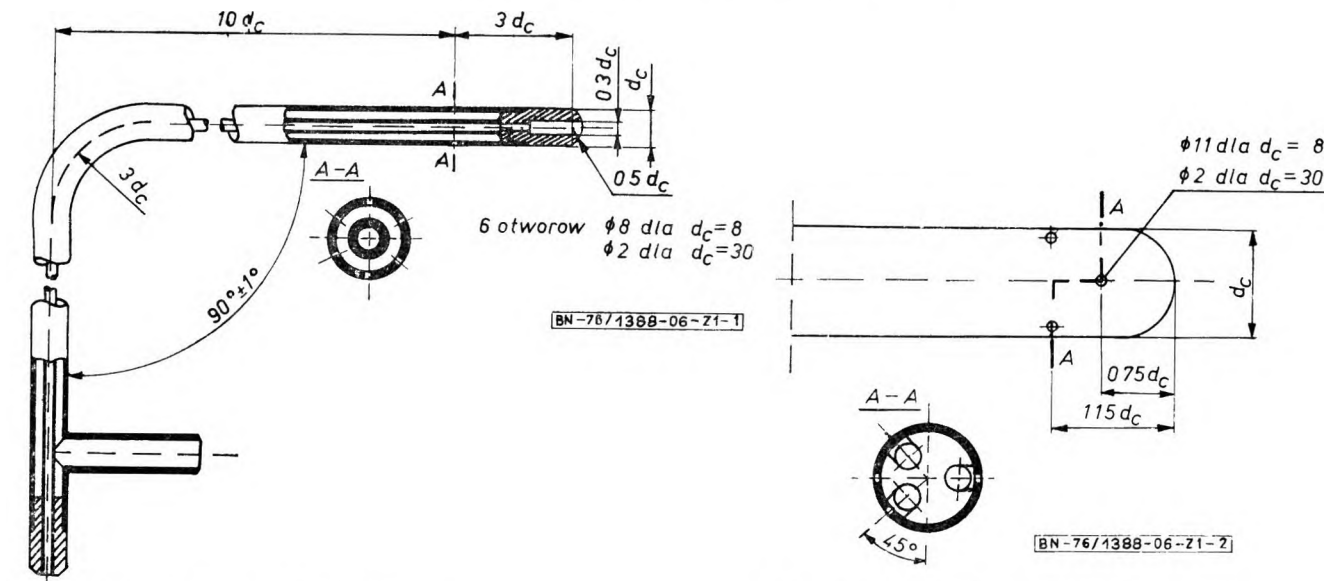
K O N I E C

Załączników 5

Informacje dodatkowe

ZAŁĄCZNIK 1

SONDY SPIĘTRZAJĄCE
Sondy spiętrzające wg rys Z1-1 i Z1-2

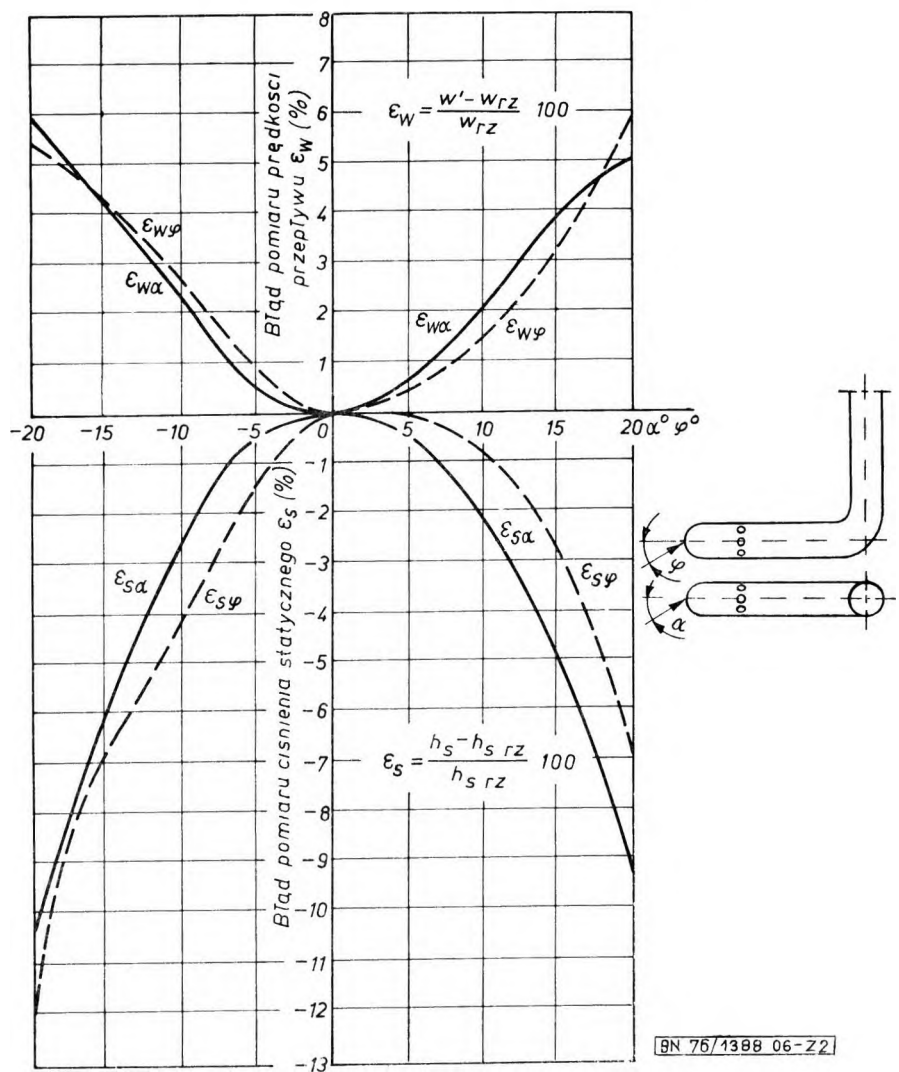


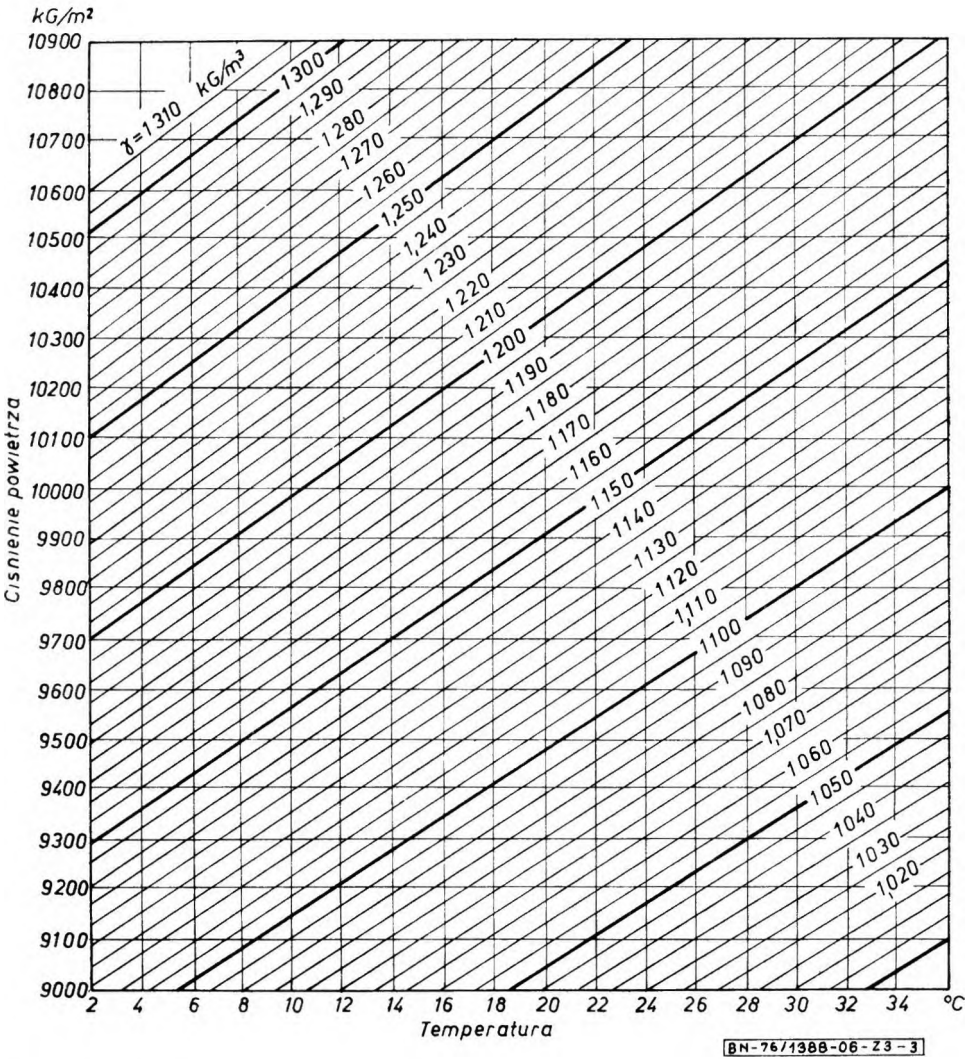
Rys Z1-1 Sonda spiętrzająca Prandtl'a

Rys Z1-2 Sonda cylindryczna

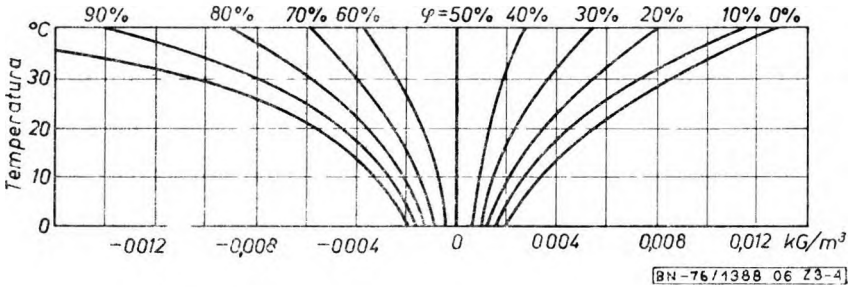
ZAŁĄCZNIK 2

WYKRES WZORCOWANIA SONDY SPIĘTRZAJĄCEJ PRANDTL'A
Wykres przedstawiono na rysunku Z2





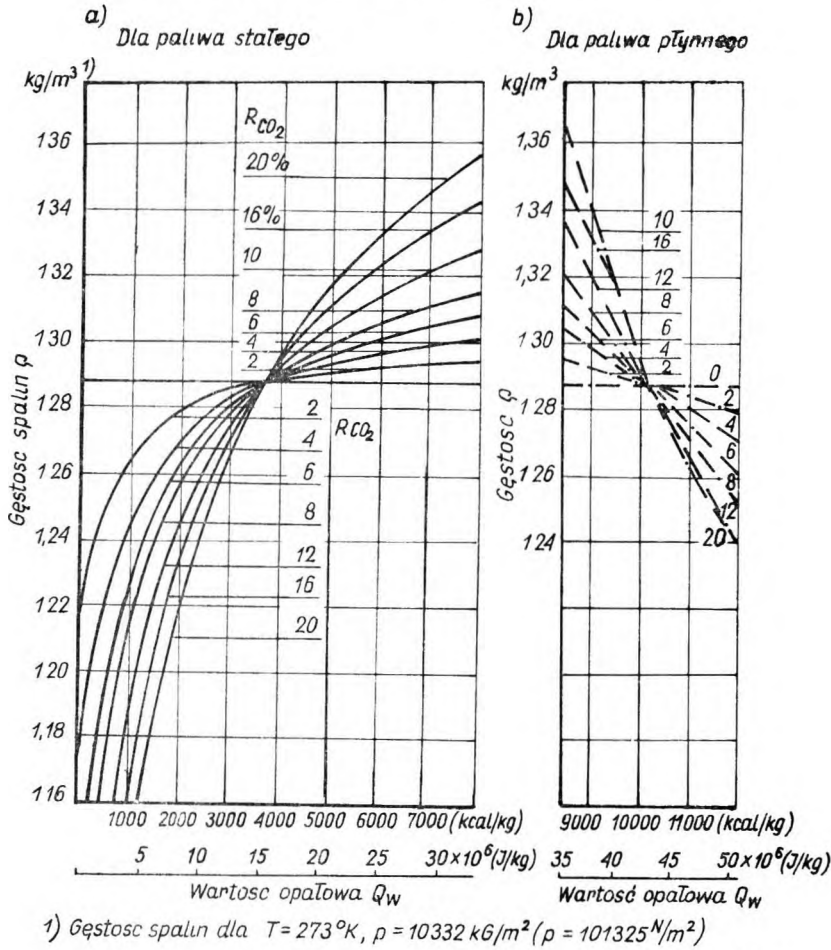
Rys Z3-3 Wykres gęstości powietrza wilgotnego dla $\gamma = 1,2 \text{ kg/m}^3$, $\varphi = 50\%$, $p = 10332 \text{ kG/m}^2$, $t = 26^{\circ}\text{C}$ — techniczny układ jednostek miar



Rys Z3-4 Wykres poprawek gęstości powietrza $\varphi \neq 50\%$

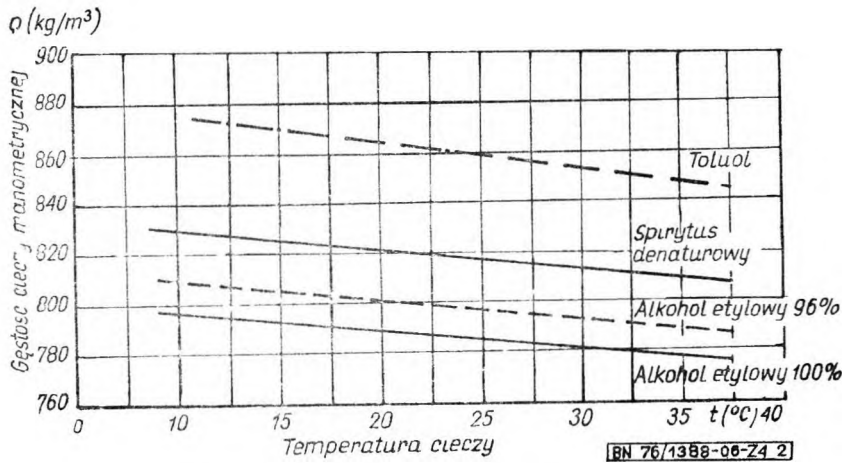
WYKRESY GĘSTOŚCI SPALIN I CIECZY MANOMETRYCZNEJ

Wykresy przedstawiono na rys Z4-1 i Z4-2



BN 76/1388-06-Z4 1

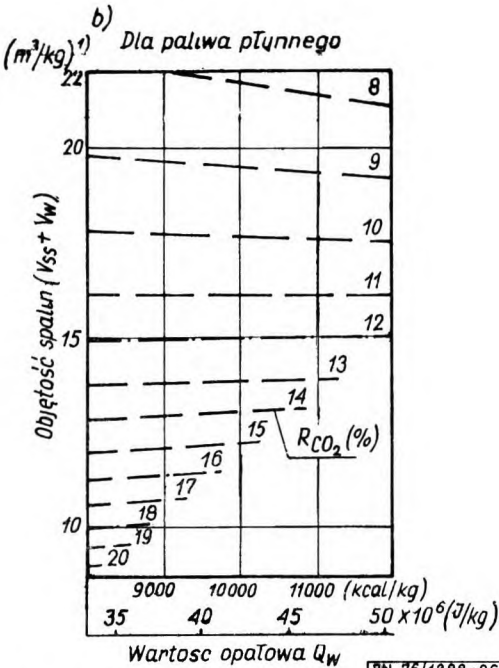
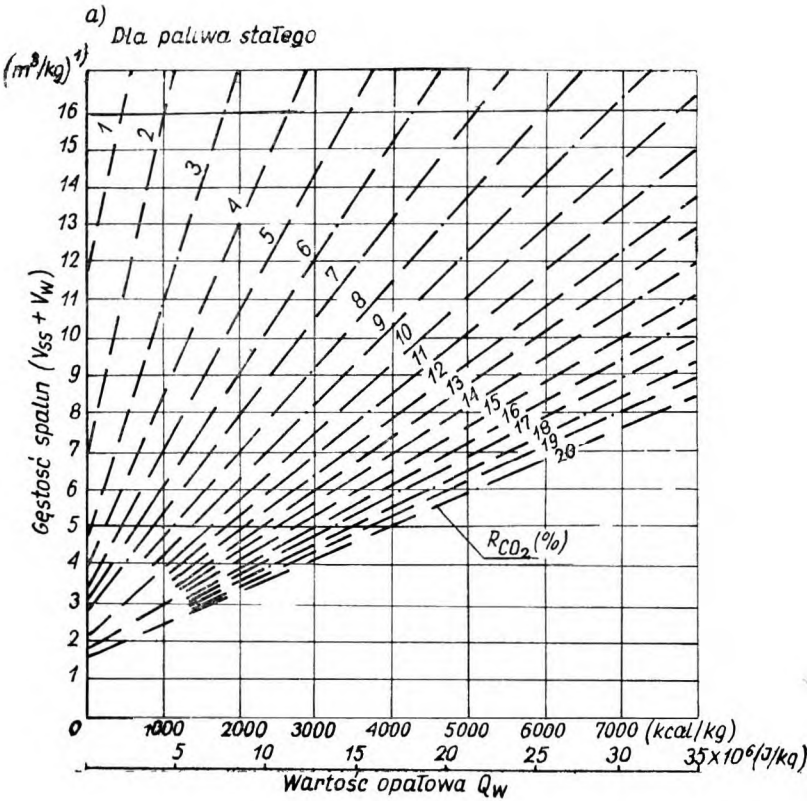
Rys Z4-1 Gęstość spalin



Rys Z4-2 Gęstość cieczy manometrycznej

WYKRESY OBJĘTOŚCI SPALIN

Wykresy przedstawiono na rysunku Z5



BN 76/1388-06 Z5

1) Objętość spalin dla $T = 273^\circ K$
 $\rho = 10332 \text{ kg/m}^3$ ($\rho = 101325 \text{ N/m}^2$)

INFORMACJE DODATKOWE

1 Instytucja opracowująca normę — Zakłady Pomiarowo-Badawcze Energetyki ENERGOPOMIAR, Gliwice

2 Istotne zmiany w stosunku do PN-63/M-34131

a) dokonano podziału ww normy na normę typu przedmiotowego oraz na niniejszą normę czynnościową dotyczącą pomiarów aerodynamicznych wentylatorów kotłowych,

b) wprowadzono do normy międzynarodowy układ jednostek (SI),

c) wprowadzono, zgodnie z postanowieniem ISO/TC117, pojęcie przyrostu energii,

d) zgodnie z wynikami badań polskich instytucji specjalistycznych zastosowano w normie inny rozkład punktów pomiarowych oraz interpretację błędów przy sondowaniu kanału oraz podano wymiary znormalizowanej sondy ciśnienia dynamicznego,

e) zastosowano inne oznaczenie wielkości charakterystycznych pracy wentylatora oraz interpretację błędów całkowitych na wykresie charakterystyki,

f) uzupełniono normę szeregiem wykresów dla łatwiejszego wyznaczenia wielkości charakterystycznych pracy

3 Normy i dokumenty związane

PN-72/E-06000 Maszyny elektryczne wirujące Ogólne wymagania i badania

PN-65/G-04161 Wentylatory kopalniane główne Badania podstawowych parametrów pracy

PN-72/M-34120 Odpylacze kotłowe Wymagania i badania odbiorcze

PN-72/M-34128 Kotły parowe Wymagania i badania odbiorcze

PN-75/M-43001 Wentylatory Wielkości charakterystyczne Nazwy, określenia, oznaczenia i jednostki

PN/M-43010 Projekt do doświadczalnego stosowania Wentylatory Pomiaru charakterystyk na stoiskach

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

PN-59/M-53854 Termometry elektryczne Charakterystyki termometryczne termoelementów

BN-76/1388-05 Wentylatory kotłowe Podstawowe wymagania i badania

Poradnik inżyniera elektryka Warszawa Wydawnictwo Naukowo-Techniczne 1968 str. 373

4 Normy zagraniczne

RFN VDI 2044 Richtlinien Abnahme — und Leistungsver-suche an Ventilatoren

RFN VDI 2045 Richtlinien Abnahme — und Leistungsver-suche an Verdichtern Versuchsdurchführung und Garantievergleich

USA AMCA — Standard test code for air moving devices AMCA Bulletin 210, 1967

Anglia FMA — Fan performance tests FMA (Fan Manufacturer's Association) 3, 1952

Francja AFNOR — X 10-200 Ventilateurs a enveloppes Regles d'essais 1965

ZSRR ГОСТ Вентиляторы центробежные (радиальные) и осевые Методы аэродинамические испытания

5 Przybliżone obliczanie błędów pomiarów

5.1 Średni błąd względny pomiaru wydajności należy obliczyć w procentach wg wzoru

$$\bar{\sigma}_Q = \pm \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_c^2} \quad (\text{I-1})$$

gdzie σ_c — średni błąd względny pomiaru prędkości przepływu, %, wyznaczony z tablicy I-1 lub w przypadku rurek spiętrzających obliczony w procentach wg wzoru

$$\bar{\sigma}_c = \pm \sqrt{a^2 + \bar{\varepsilon}_p^2 + \bar{\varepsilon}_p^2} \quad (\text{I-2})$$

w którym

$a = 1,5\%$ — dla przekroju kołowego,

$a = 2,5\%$ — dla przekroju prostokątnego,

$\bar{\varepsilon}_p$ — błąd względny wynikający z kąta przestrzennego wektora prędkości (załącznik 2) %, Dla przepływu równoległego $\bar{\varepsilon}_p = 0\%$

$\bar{\varepsilon}_p = 0\%$

$\bar{\varepsilon}_p$ — błąd względny wynikający z pulsacji przepływu, % Dla pulsacji (p 3 73) mniejszej od 15% p_d (ciśnienia dynamicznego), $\bar{\varepsilon}_p = 0\%$,

σ_A — błąd względny pomiaru przekroju kanału pomiarowego, %

$$\bar{\sigma}_A = \pm 0,82 \frac{\Delta A}{A_m} 100 \quad (\text{I-3})$$

w którym

ΔA — bezwzględna średnia odchyłka przekroju kanału pomiarowego, m^2 ,

A_m — średnia powierzchnia przekroju pomiarowego wyznaczona z trzech pomiarów m^2

Dla innych metod pomiaru wydajności, błąd względny jest podany w tabl. I-1

5.2 Średni błąd względny pomiaru spiętrzenia całkowitego należy obliczyć w % wg wzoru

$$\bar{\sigma}_{\Delta p} = \pm \sqrt{\bar{\sigma}_p^2 + \left(\bar{\varepsilon}_p \frac{p_d}{\Delta p_c} \right)^2} \quad (\text{I-4})$$

w którym

$\bar{\sigma}_p$ — średni błąd względny pomiaru ciśnienia (tabl. I-1), %,

$\bar{\varepsilon}_p$ — błąd względny wynikający z pulsacji przepływu (p I-5 1), %

5.3 Średni błąd względny wyznaczenia użytecznego przyrostu energii obliczony w % wg wzoru

$$\bar{\sigma}_{\Delta e} = \pm \sqrt{\bar{\sigma}_{\Delta p}^2 + \bar{\sigma}_T^2} \quad (\text{I-5})$$

gdzie $\bar{\sigma}_Q$ — średni błąd względny wyznaczenia gęstości (ciężaru właściwego) czynnika, % Błąd należy obliczyć w procentach wg wzoru

$$\bar{\sigma}_Q = \pm \sqrt{\bar{\sigma}_T^2 + \bar{\sigma}_p^2 + \bar{\sigma}_R^2} \quad (\text{I-6})$$

w którym

$\bar{\sigma}_T, \bar{\sigma}_p$ — średni błąd względny wyznaczania temperatury bezwzględnej i ciśnienia czynnika (z tabl. I-1), %

$\bar{\sigma}_R$ — średni błąd względny wyznaczenia stałej gazowej (lub gęstości) dla warunków normalnych fizycznych, %

Przeciętna wartość $\bar{\sigma}_R = \pm 0,1 - \pm 0,3\%$

5.4 Średni błąd względny pomiaru mocy Średni błąd względny dla bezpośredniego pomiaru mocy jest przedstawiony w tabl. I-1 (dokładny sposób obliczenia tego błędu podaje norma PN/M-43010 Projekt) Dla pośredniego pomiaru mocy (za pomocą przyrządów elektrycznych) średni błąd względny należy obliczyć w % wg wzoru

$$\bar{\sigma}_N = \pm \sqrt{\bar{\sigma}_{Nsp}^2 + \bar{\sigma}_{\eta s}^2 + \bar{\sigma}_{\eta p}^2} \quad (\text{I-7})$$

gdzie $\bar{\sigma}_{Nsp}$ — błąd względny mocy pobieranej przez silnik elektryczny, %, wg wzorów

$$\bar{\sigma}_{Nsp} = \pm \sqrt{\bar{\sigma}_{N1}^2 + \bar{\sigma}_{N2}^2 + X_j^2 + X_u^2} \quad (I-8)$$

$$\bar{\sigma}_{N1} = \pm \frac{L_{max}}{L} X_w$$

$$\bar{\sigma}_{N2} = \pm \frac{\Delta L}{L} 100$$

w których

L_{max} — maksymalny zakres watomierza w działkach,

L — mierniczy zakres watomierza w działkach

ΔL — dokładność odczytu w działkach,

X_w — klasa watomierza, %,

X_j — klasa przekładników prądowych, %

X_u — klasa przekładników napięciowych, %,

$\bar{\sigma}_{\eta_s}, \bar{\sigma}_{\eta_p}$ — błąd względny wyznaczenia sprawności silnika i przekładni, %

W przypadku wyznaczenia sprawności z danych znamionowych silnika — $\bar{\sigma}_{\eta_s} = 0,5\%$

5.5 Średni błąd względny pomiaru sprawności należy obliczyć w % wg wzoru

$$\bar{\sigma}_{\eta} = \pm \sqrt{\bar{\sigma}_{\Delta p}^2 + \bar{\sigma}_Q^2 + \bar{\sigma}_N^2} \quad (I-9)$$

5.6 Średni błąd względny zredukowanych wielkości charakterystycznych pracy wentylatora należy obliczyć w % wg wzorów
dla wydajności objętościowej

$$\bar{\sigma}_{Qvr} = \pm \sqrt{\bar{\sigma}_{Qv}^2 + \bar{\sigma}_n^2} \quad (I-10a)$$

dla wydajności masowej

$$\bar{\sigma}_{Qmr} = \pm \sqrt{\bar{\sigma}_{Qm}^2 + \bar{\sigma}_n^2 + \bar{\sigma}_e^2} \quad (I-10b)$$

Tablica I-1 Zestawienie przeciętnych wartości względnych błędów pomiarów

Pomiar ciśnienia za pomocą mikromanometrów pochyłych	$\pm 0,2 - \pm 0,5\%$
manometrów cieczowych pionowych	$\pm 0,5 - \pm 1,0\%$
manometrów sprężynowych	$1,0\%$
Pomiar temperatury ³⁾ za pomocą termometrów rtęciowych	$0,5 - \pm 2,0\%$
termoelementów	$\pm 1,5 - \pm 3,5\%$
termometrów oporowych	$\pm 1,0 - \pm 2,0\%$
Pomiar prędkości przepływu za pomocą anemometrów	$\pm 3,0 - \pm 6,0\%$
rurek spiętrzających ¹⁾	$\pm 1,5 - \pm 6,0\%$
Pomiar strumienia masy za pomocą zwęzek mierniczych)	$\pm 1 - \pm 1,5\%$
bilansu masowego kotła parowego	$\pm 0 - \pm 7\%$
Pomiar prędkości obrotowej za pomocą obrotomierzy odśrodkowych	$\pm 1 - \pm 1,5\%$
obrotomierzy elektrycznych i indukcyjnych	$\pm 0,5\%$

cd tabl I-1

liczników obrotów	$\pm 0,5\%$
lampy stroboskopowej	$\pm 0,25 - 0,5\%$
Pomiar mocy za pomocą dynamometru skrzynkowego	$\pm 2\%$
dynamometru kołyskowego	$\pm 0,5 - 1,5\%$
przysądów elektrycznych ¹⁾ (pomiar mocy pobieranej przez silnik elektryczny)	$\pm 1 - \pm 1,5\%$

¹⁾ Obliczanie błędu pomiaru podano w Informacjach dodatkowych (I-5.1)
²⁾ Dokładne wyznaczenie błędu pomiaru wg PN-65 M-53950
³⁾ Błędy względne podane dla temperatury w stopniach Celsjusza

dla użytecznego przyrostu energii

$$\bar{\sigma}_{\Delta er} = \pm \sqrt{\bar{\sigma}_{\Delta e}^2 + \bar{\sigma}_e^2 + \bar{\sigma}_n^2} 4 \quad (I-11)$$

dla spiętrzenia całkowitego

$$\bar{\sigma}_{\Delta pr} \sqrt{\bar{\sigma}_{\Delta p}^2 + \bar{\sigma}_e^2 + \bar{\sigma}_n^2} 4 \quad (I-12)$$

dla mocy

$$\bar{\sigma}_{Nr} = \pm \sqrt{\bar{\sigma}_N^2 + \bar{\sigma}_e^2 + \bar{\sigma}_n^2} 9 \quad (I-13)$$

w których

$\bar{\sigma}_n$ — błąd względny pomiaru prędkości obrotowej, % (wg tabl I-1),

$\bar{\sigma}_e$ — błąd względny pomiaru gęstości, %

6 Przykład protokołu z pomiaru wentylatora

6.1 Cel pomiaru Celem pomiaru wentylatora było sprawdzenie wielkości charakterystycznych pracy wentylatora przy całkowicie otwartym urządzeniu regulacyjnym i porównywanie wyników pomiaru z danymi uzgodnionymi z wytworcą

6.2 Opis badanego obiektu Wentylator typu promienowego, jednostrumieniowego z urządzeniem regulacyjnym, zasysa spaliny z kotła parowego i tłoczy je do komina. Przy kotle są zainstalowane równolegle dwa wentylatory tego samego typu. Uzgodnione, dane wentylatora wynoszą wydajność 142 m³/s, spiętrzenie całkowite 320 kG/m² (3140 Pa), temperatura spalin 436 K, gęstość spalin 0,81 kg/m³, prędkość obrotowa 740 obr/min (12,31/s), moc 556 kW (556 10³ W). Sprawność 79,5%. Wentylator jest bezpośrednio napędzany silnikiem elektrycznym o danych: moc 650/340 kW (×10³W), napięcie 6300 V, natężenie prądu 81/41A, współczynnik mocy 0,82/0,84, sprawność 90/90,5% (wg protokołu odbioru fabrycznego), prędkość obrotowa 740/590 obr/min (12,3/9,8 1/s)

6.3 Opis pomiarów Pomiary przeprowadzono przy czynnym kotle parowym. Wydajność wentylatora przy stałym ustawieniu urządzenia regulacyjnego (kierownice wlotowych) zmieniono przez dławienie przepływu spalin zasuwą, zainstalowaną przed podgrzewaczem powietrza. Dla każdego punktu pomiarowego utrzymywano stałe obciążenie kotła, przy czym wentylatory spalin były wyłączone z automatyki kotłowej. W czasie pomiaru wyznaczono poszczególne wielkości charakterystyczne w następujący sposób

Wydajność wentylatora — za pomocą pomiaru ciśnienia dynamicznego sondą spiętrzającą Prandtl'a w 40 punktach przekroju kanału tłocznego usytuowanego w

Tablica I-2 Zestawienie wyników pomiarów i obliczeń wentylatora

Lp	Wielkości mierzone	Oznaczenie	Jednostka	Kolejny punkt pracy wentylatora					Sposób wyznaczenia wartości
				1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Cisnienie barometryczne	P_o	Pa	100328,8	100300 0	100300,0	100300,0	100300,0	pomiar
2	Temperatura otoczenia	T_o	K	294	294	294	294	294	pomiar
3	Wydajność objętościowa wentylatora	Q_v	m ³ /s	172,0	161,5	146,5	115,0	62,0	wzór (25a)
4	Strumień masowy przepływu spalin w przekroju pomiarowym	Q_{mx}	kg/s	137,7	131,4	120,8	96,1	57,3	wzór (24a)
5	Średnia prędkość przepływu w przekroju pomiarowym	C_m	m/s	20,10	18,85	17,22	13,31	7,20	wzór (3a)
6	Średnie ciśnienie dyn w przekroju pomiarowym ¹⁾	p_{dx}	Pa	169,0	150,0	129,0	77,3	42,1	pomiar
7	Średnie ciśnienie dyn w płaszczyźnie wylotu ²⁾	p_{dz}	Pa	267 – 0	237,0	203,0	122,0	66 5	wzór (29a)
8	Średnie ciśnienie dyn w płaszczyźnie wylotu ³⁾	p_{d1}	Pa	130,2	114 8	99,0	58,5	32,0	wzór (29a)
9	Cisnienie statyczne w przekroju pomiarowym	p_{ax}	Pa	–201,1	–201,1	–191,3	–291,1	–323,7	pomiar
10	Cisnienie całkowite w przekroju pomiarowym	p_{cx}	Pa	–32,1	–51,7	–62,3	–123,8	–281,6	wzór (23)
11	Spadek ciśnienia w kanale	Δp_t	Pa	50,7	45	38,7	23,2	12 6	wzór (26d)
12	Cisnienie całkowite w płaszczyźnie wylotu	p_{C_2}	Pa	18,6	–6 7	–23,6	–120,6	–269,0	wzór (31)
13	Cisnienie statyczne w płaszczyźnie wylotu	p_{S_2}	Pa	–248,4	–243,7	–226 6	–242,6	–335 5	wzór (19)
14	Cisnienie statyczne w płaszczyźnie wylotu	p_{S_1}	Pa	–2545,7	–2987,1	–3660,0	–4694,0	–5268,0	pomiar
15	Śpiętrzenie statyczne	Δp_s	Pa	2297,3	2743,4	3433,4	–4451,4	4932 5	wzór (27)
16	Śpiętrzenie całkowite	Δp_c	Pa	2434,1	2865,6	3507,4	4514,9	4967,0	wzór (30a)
17	Użyteczny przyrost energii statycznej	Δe_s	J/kg	2816,3	3335,8	4014,4	5241,0	5247,1	wzór (33c)
18	Użyteczny przyrost energii dynamicznej	Δe_d	J/kg	174,5	143,0	117,5	69,5	34 5	wzór (35a)
19	Użyteczny przyrost energii	Δe_c	J/kg	2990,8	3478,8	4131 9	5320,5	5281,6	wzór (36)
20	Temperatura spalin w przekroju pomiarowym	T_s	K	425	416	406	402	365	pomiar
21	Gęstość spalin w przekroju pomiarowym (w płaszczyźnie wylotu)	ρ_2	kg/m ³	0,825	0,840	0 866	0,870	0,961	wzór (17a)
22	Gęstość spalin w płaszczyźnie wlotu	ρ_1	kg/m ³	0,810	0 815	0,845	0,838	0,925	pomiar
23	Zawartość CO ₂ w spalinach suchych	R_{co2}	%	9,1	7,9	7,0	7,1	5,0	pomiar
24	Liczba użytecznego przyrostu energii	f	—	0,993	0,991	0,988	0,985	0,984	rys 2
25	Sprawność wentylatora	η	%	68,8	73,9	81,4	86,9	64,0	wzór (39)
26	Moc wentylatora	N	W	605000	619000	628000	590000	466000	wzór (11a)
27	Moc pobierana przez silnik	N_{sp}	W	672000	688000	697000	655000	519000	pomiar
28	Sprawność silnika	η_s	%	90,0	90,0	90,0	90 0	89,9	pomiar
29	Sprawność zespołu	η_z	%	61,9	66 5	73,2	78,2	58,3	pomiar
30	Prędkość obrotowa	n	1/s	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32	pomiar
	Parametry zredukowane ($n = 12,32$ 1/s $= 0,83$ kg/m ³)								
31	Śpiętrzenie całkowite	Δp_c	Pa	2492,5	2917 1	3444,2	4469,7	4455,3	wzór (49a)
32	Użyteczny przyrost energii	Δe_c	J/kg	3062,5	3541,1	4057 5	5267,3	4737,6	wzór (50)
33	Moc wentylatora	N	W	619000	630000	6160 0	584000	418000	wzór (52a)

1) Powierzchnia przekroju kanału $A_x = 83$ m²
2) Powierzchnia przekroju kanału $A_2 = 66$ m²
3) Powierzchnia przekroju kanału $A_1 = 105$ m²

odległości około 6 średnic równoważnych za kolaniem 90° . Wartość ciśnienia dynamicznego odczytywano na mikromanometrze pochyłym o przekładni $a=5$.

Temperaturę spalin — za pomocą dwóch termoelementów NiCr-Ni zanurzonych w kanale w miejscu pomiaru wydajności. Siłę termoelektryczną odczytywano na kompensatorze elektrycznym.

Skład spalin — za pomocą analizatora spalin typu „Oisat”

Cisnienie statyczne spalin — za pomocą sondy spiętrzającej (w miejscu pomiaru wydajności) i mikromanometru oraz 4 otworami impulsowymi w płaszczyźnie wlotu i 2 otworami w płaszczyźnie wylotu. Do otworów impulsowych podłączono U-rurki napełnione wodą. Z powodu nierównoległego przepływu spalin w płaszczy-

nie wylotu uzyskano błędne wskazania i do obliczeń przyjęto ciśnienie mierzone w kanale tłocznym uwzględniając spadek ciśnienia od wentylatora do miejsca pomiaru wydajności.

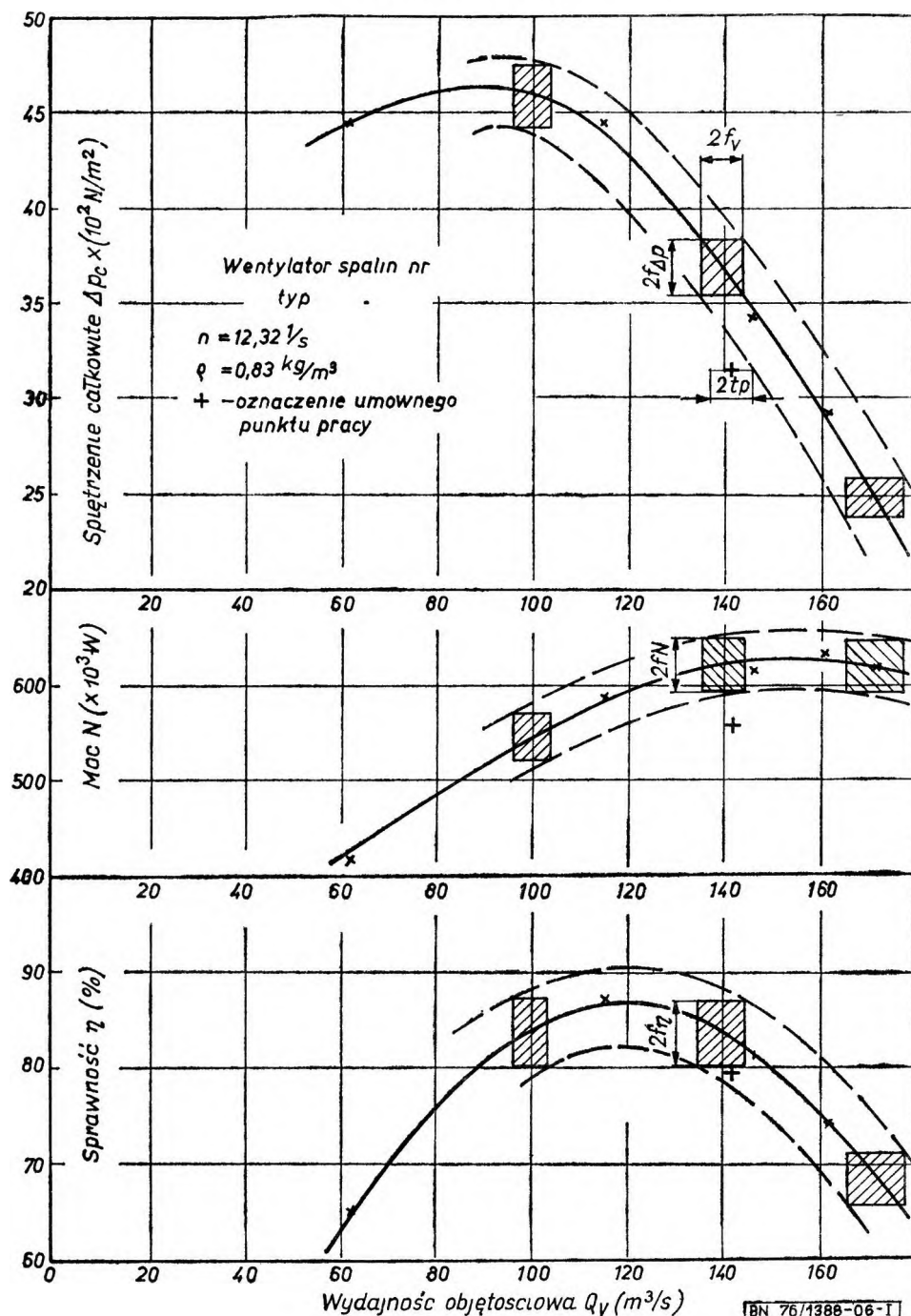
Prędkość obrotową — za pomocą tachometru mechanicznego.

Cisnienie otłoczenia — za pomocą barometru rtęciowego.

Moc pobieraną przez silnik — watomierzem dwustemowym klasy 0,5 podłączonym w układzie Aron'a do ruchowych przekładników pomiarowych klasy 1.

6.4 Obliczanie wyników pomiarów W tabl I—2 przedstawiono wyniki pomiarów i obliczeń wentylatora Z PN-65/G-04161 oraz z p. 46 wyznaczono liczbę oporu przepływu od wentylatora do miejsca pomiaru.

Wykres charakterystyki wentylatora z uwzględnieniem błędów pomiarowych



wydajności $\xi_{K+L}=0,3$ W związku z tym przyjęto większy błąd względny wyznaczenia spiętrzenia $\bar{\sigma}_{\Delta p} = \pm 2\%$ Błędy pozostałych wielkości, obliczone w sposób szacunkowy, wynoszą

$\bar{\sigma}_Q = +3,2\%$, $\bar{\sigma}_N = 1,6\%$, $\bar{\sigma}_{\eta} = \pm 4,1\%$ Dla zredukowanych parametrów obliczono błędy względne przyjmując $\bar{\sigma}_n = 1,5\%$, $\bar{\sigma}_\rho = \pm 0,7\%$ Błędy te wynoszą $\sigma_{Qr} = \pm 3,6\%$, $\bar{\sigma}_{\Delta pr} = 3,7\%$, $\sigma_{Nr} = 4,7\%$ Błędy całkowite, wyznaczone wg p 4 20 2, są przedstawione na wykresie charakterystyki (rysunek)

6.5 Ocena dotrzymania parametrów Charakterystyka spiętrzenia wentylatora wykreslona na rysunku przebiega powyżej uzgodnionego punktu pracy W związku z tym, pomimo dotrzymania sprawności przez wentylator, jego pobór mocy — przy maksymalnym położeniu kierownic urządzenia regulacyjnego — jest o 11,5% większy od uzgodnionego Silnik elektryczny ma

jednak zapas mocy, który uniemożliwia jego przeciążenie przy znamionowej gęstości spalin ($\rho = 0,83 \text{ kg/m}^3$) Zgodnie z BN-76/1388-06 naniesiono na wykres charakterystyki aerodynamicznej tolerancję wykonania dla spiętrzenia $t_p (\pm 3\%Q)$ Odcinek linii poziomej jest styczny do pola błędów pomiaru, w związku z czym należy stwierdzić, że charakterystyka spiętrzenia całkowitego wentylatora odpowiada danym uzgodnionym z wytworcą

7 Zgodność z zaleceniami ISO i RWPG Norma jest merytorycznie zgodna z postanowieniami Międzynarodowego Komitetu ISO/TC117 i zaleceniami RWPG (RS2650-72) dotyczącymi badań wentylatorów promieniowych

8 Autor projektu normy — mgr inż Jan Jagielski, Zakłady Pomiarowo-Badawcze Energetyki ENERGOPOMIAR, Gliwice