



Politechnika Wroclawska

Wydział Mechaniczno-Energetyczny

BILANS CIEPLNY AGREGATU GRZEWCZEGO

Opracował:
Dr inż. Krzysztof Kubas
Dr inż. Elżbieta Wróblewska

Wrocław 2015

1. WSTĘP

Nagrzewnica powietrza jest to agregat grzewczy służący do podgrzewania powietrza, stosowany w celu tymczasowego ogrzewania hal i budynków oraz w procesach suszenia tam, gdzie gorące powietrze może być użyte jako czynnik suszący. Szeroka gama produktów tego typu zapewnia efektywny dobór urządzenia ze względu na rodzaj pomieszczenia i jego metraż.

2. CEL POMIARÓW

Celem pomiaru jest przeprowadzenie bilansu cieplnego agregatu grzewczego. Zapoznanie się z zasadą działania nagrzewnicy powietrza jej parametrami charakterystycznymi, metodami ich wyznaczania oraz sporządzenie jej krzywych charakterystycznych (charakterystyk):

$m_{pal} = f(p_{pal})$ - charakterystyka pompy paliwowej;

$m_{pal} = f(Q_{pow})$ -zużycie paliwa w zależności od wydajności cieplnej agregatu;

$b = f\left(\frac{\dot{Q}}{Q_{nom}}\right)$ -jednostkowe zużycie paliwa w funkcji obciążenia;

$\eta = f\left(\frac{\dot{Q}}{Q_{nom}}\right)$ -sprawność agregatu grzewczego w zależności od obciążenia;

gdzie:

m_{pal} -ilość zużytego paliwa, kg/h ;

p_{pal} -ciśnienie paliwa, at ;

Q_{pow} -wydajność cieplna agregatu, kW ;

b -jednostkowe zużycie paliwa, kg/MJ ;

$\frac{\dot{Q}}{Q_{nom}}$ -obciążenie agregatu;

η - sprawność agregatu grzewczego, %;

3. STANOWISKO POMIAROWE

Stanowisko pomiarowe (rys.1) składa się z przewoźnego agregatu grzewczego typu TAJFUN EC 220 MA firmy Schifter. W skład agregatu wchodzi wentylator osiowy (wymuszający przepływ powietrza i spalin) oraz pompa paliwowa , oba urządzenia są napędzane silnikiem elektrycznym. Spaliny z komory spalania przepływają przez usytuowany koncentrycznie wokół niej przeponowy wymiennik ciepła następnie kanałem spalinowym zostają odprowadzane do atmosfery. Powietrze nagrzewa się omywając gorące ściany przeponowego wymiennika ciepła oraz komory spalania. Zmianę wydajności cieplnej agregatu uzyskuje się poprzez regulację ciśnienia paliwa w przedziale $3,5 \div 8 at$.

Dane techniczne agregatu grzewczego:

-nominalna wydajność cieplna – 52,3 kW

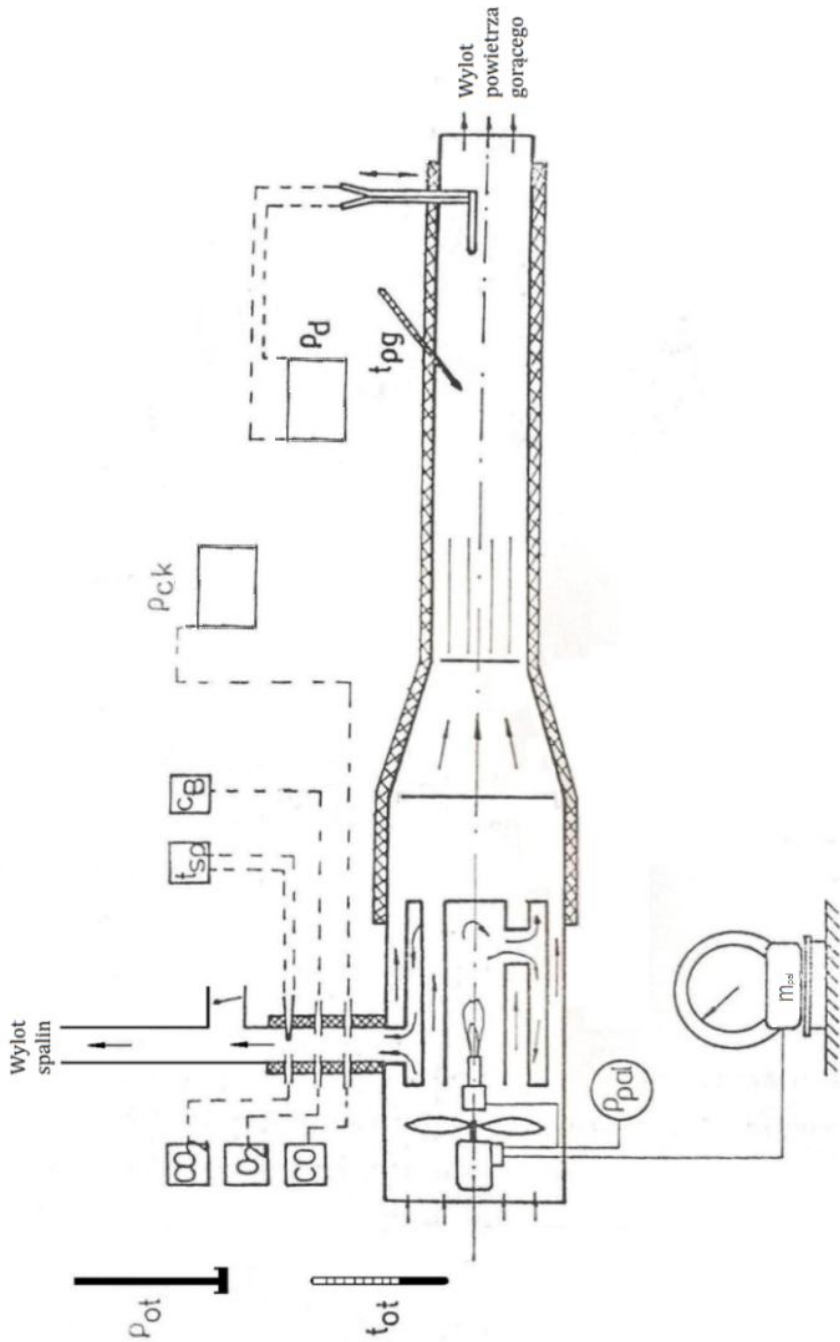
-wydatek powietrza – 3500 m³/h

-temperatura ogrzanego powietrza (w odległości 0,5 m od wylotu) – 70 ÷ 90 °C

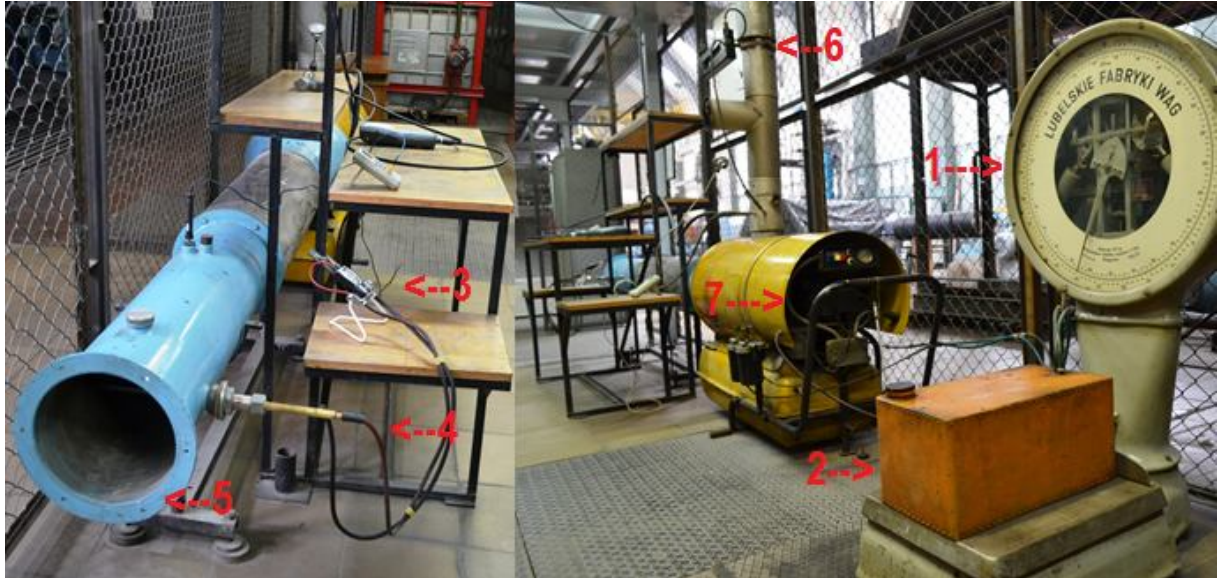
-zużycie paliwa – 7,75 dm³/h

-rodzaj paliwa – olej napędowy (wartość opałowa 46,3 MJ/kg)

Do agregatu dołączono odcinek pomiarowy rurociągu o średnicy 250 mm i długości 2 m. Na wlocie do tego odcinka zainstalowano układ kanałów wyrównujących przepływ i likwidujący składową obwodową wektora prędkości. Część odpływową agregatu, odcinek pomiarowy oraz część kolektora wylotowego spalin izolowano cieplnie w celu ograniczenia strat ciepła do otoczenia. W celu umożliwienia pomiaru ilości paliwa agregat jest zasilany z odrębnego zbiornika znajdującego się na wadze.



Rys. 1. Schemat agregatu grzewczego.



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe. 1- Waga do pomiaru ubytku paliwa; 2- zbiornik z paliwem; 3- miernik mierzący temperaturę powietrza gorącego; 4- rurka Prandtla służąca do pomiarów ciśnienia dynamicznego metodą okręgów współśrodkowych o tych samych polach; 5- wylot powietrza gorącego; 6-wylot spalin; 7-miejsce regulacji i pomiarów ciśnienia paliwa.

4. SPOSÓB PRZEPROWADZENIA POMIARÓW

- Ilość zużywanego paliwa M_{pal} określa się poprzez ważenie ubytku paliwa.
- Pomiar natężenia przepływu powietrza przeprowadza się za pomocą rurki spiętrzającej Prandtla umieszczonej na wylocie odcinka pomiarowego.
- Pomiar ciśnienia dynamicznego dokonuje się w dwóch płaszczyznach V i H wzajemnie prostopadłych, na promieniach wyznaczonych metodą pierścieni współśrodkowych o równych polach. W tej metodzie sposób pomiaru rurką Prandtla polega na podzieleniu przekroju przewodu na szereg elementów i pomierzeniu ciśnienia dynamicznego gazu w określonym punkcie każdego z tych elementów. W przypadku rurociągu okrągłego będą to pierścienie. Ilość n powierzchni o równych polach zależy od średnicy rurociągu. Dla rurociągów o średnicach:

$$\begin{aligned} D \leq 300 \text{ mm} - n &= 3 \\ D = 300 \div 1200 \text{ mm} &- n = 5 \\ D > 1200 \text{ mm} - n &= 5 \end{aligned}$$

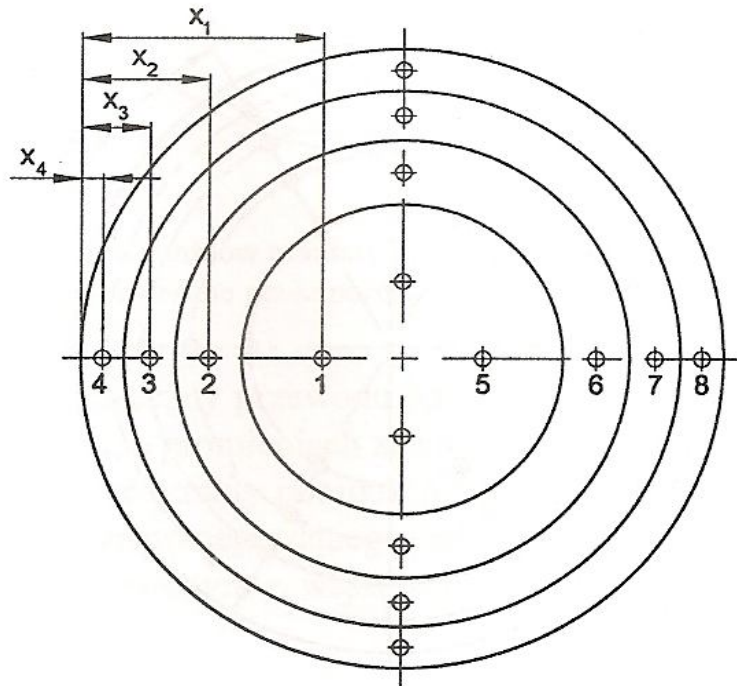
Miejsca, w których znajdują się punkty pomiarowe oblicza się z zależności:

$$X = \frac{D}{2} \cdot \left(1 \pm \sqrt{\frac{2m-1}{2n}} \right) \quad (1.1.)$$

X - odległość punktu pomiaru od wewnętrznej powierzchni przewodu

D - wewnętrzna średnica przewodu

m - numer kolejnego pierścienia liczonego od środka przewodu



Rys. 3. Przykład wyznaczenia położenia punktów pomiarowych w przewodzie o przekroju kołowym według metody pierścieni współśrodkowych o równych polach.

- Temperaturę powietrza na wylocie do agregatu mierzy się w odległości $0,5\text{ m}$ od przekroju wlotowego. Temperaturę tę przyjmujemy się jako temperaturę otoczenia.
- Pomiar temperatury powietrza gorącego t_{pg} przeprowadza się w odcinku pomiarowym w odległości $0,5\text{ m}$ od przekroju wylotowego.
- Pomiar temperatury wylotowej spalin t_{sp} dokonuje się przy pomocy termopary zainstalowanej w zaizolowanym odcinku pomiarowym króćca wylotowego spalin.
- Analizę składu spalin przeprowadza się aparatem Orseta oraz równocześnie analizatorami elektrycznymi. Poboru próbek spalin, dokonuje się w odległości ok 150 mm od wylotu z agregatu.
- Zawartość CO w spalinach można również kontrolować ręcznym indykatorem chemicznym i rurkowymi wskaźnikami tlenku węgla.
- Metodą Bacharacha można określić stopień czerni spalin c_B będący względną miarą straty niecałkowitego spalania. Skala Bacharacha posiada 10 stopni czerni, od 0 do 9. Pomiar polega na wizualnym porównaniu ze wzorcem skali Bacharacha stopnia zaczernienia bibuły filtracyjnej, przez którą przefiltrowana została określona objętość spalin.
- Badania bilansowe należy przeprowadzić przy minimum 3 obciążeniach agregatu.
- Agregat uruchamia się przy ciśnieniu paliwa około $5,5\text{ at}$. Po rozruchu agregatu ciśnienie należy zredukować do dolnej zadanej wartości ciśnienia paliwa i odczekać aż warunki pomiarowe się ustalą.
- Pomiarów wykonywać przez okres nie mniejszy niż 5 minut dla kolejnych rosnących wartości ciśnienia.

5. OBLICZANIE WIELKOŚCI CHARAKTERYSTYCZNYCH

Strumień ciepła dostarczony z paliwem

$$\dot{Q}_{pal} = \dot{m}_{pal} \cdot Q_w^r, kW \quad (1.1)$$

\dot{m}_{pal} - ilość paliwa zużywana w określonej jednostce czasu, kg/s

Q_w^r - wartość opałowa paliwa, kJ/kg

Wydajność cieplna agregatu

$$\dot{Q}_{pow} = \dot{q}_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{pg} - t_{ot}), kW \quad (1.2)$$

\dot{q}_v - strumień objętości powietrza ogrzewanego w agregacie, m³/s

ρ - gęstość powietrza w temperaturze t_{pg} przy ciśnieniu otoczenia p_{ot} , kg/m³

c_p - ciepło właściwe powietrza, kJ/kg·K

t_{pg} - temperatura powietrza gorącego, °C

t_{ot} - temperatura powietrza na wlocie do agregatu, °C

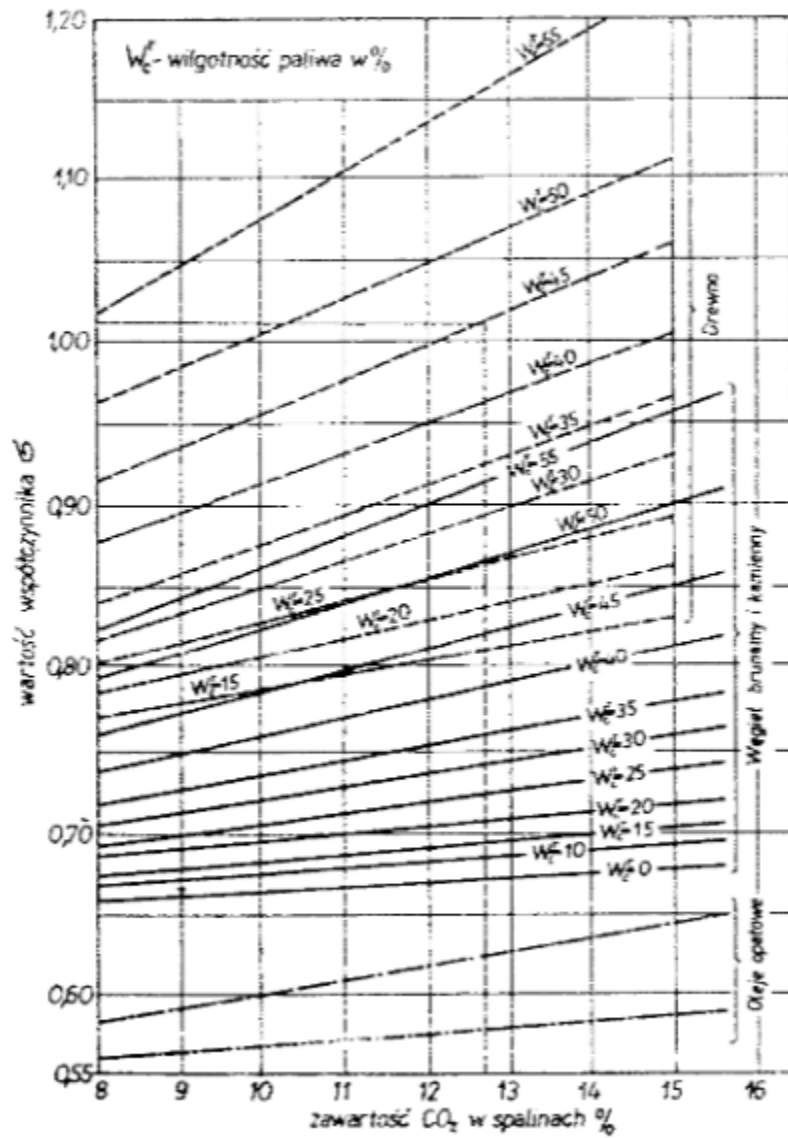
Strata wylotowa

$$S_k = \sigma \frac{(t_{sp} - t_{ot}) + 0,59 \cdot CO}{CO_2 + CO}, \% \quad (1.4)$$

σ - współczynnik wzoru Siegerta dobierany wg rys. 2. w zależności od zawartości CO₂ w spalinach

Gdy CO- zawartość tlenku węgla w spalinach jest mniejsza od 0,3 % to wzór można uprościć do następującej postaci:

$$S_k = \frac{\sigma \cdot (t_{sp} - t_{ot})}{CO_2}, \% \quad (1.5)$$



Rys. 4. Współczynnik σ do wzoru Siegerta.

Sprawność cieplna agregatu

$$\eta_A = \frac{\dot{Q}_{pow}}{\dot{Q}_{pal}} \cdot 100, \% \quad (1.6)$$

Jednostkowe zużycie paliwa

$$b = \frac{\dot{m}_{pal}}{\dot{Q}_{pow}}, \text{ kg/kJ} \quad (1.7)$$

Reszta strat

$$S_R = 100 - (\eta_A + S_k), \% \quad (1.8)$$

Liczba nadmiaru powietrza

Jest to parametr określający warunki spalania, definiuje się go jako stosunek ilości powietrza dostarczonego do spalania do ilości teoretycznej powietrza potrzebnego do spalania. W praktyce ilości te mierzone są ze znacznym błędem, dlatego wartość współczynnika nadmiaru powietrza oblicza się przy pomocy znajomości udziałów N_2 , CO, O_2 i CO_2 w spalinach. Przyjmując dla uproszczenia udziały objętościowe azotu i tlenu : 0,79 i 0,21 można wyprowadzić następujący wzór:

$$\lambda = \frac{0,266[N_2]}{0,266[N_2] - ([O_2] - 0,5[CO])} \quad (1.9)$$

Gdzie liczba 0,266 wynika ze stosunku udziału tlenu i azotu w powietrzu. Udział CO w stosunku do O_2 w spalinach jest niewielki zatem można przyjąć:

$$\lambda = \frac{1}{1 - \frac{0,79[O_2]}{0,21[N_2]}} \quad (1.10)$$

W skrajnym uproszczeniu przyjmuje się że udział azotu w spalinach również wynosi 79%, z tą następujący wzór:

$$\lambda = \frac{21}{21 - O_2} \quad (1.11)$$

6. PYTANIA KONTROLNE

- Na czym polega metoda pierścieni współśrodkowych o równych polach?
- Jakie są rodzaje analizatorów składu spalin? Czym one się różnią?
- Jaki jest podstawowy skład spalin?
- Jakie krzywe charakteryzują pracę nagrzewnicy powietrza?
- Jaką wielkość mierzymy rurką Prandtla? Schemat zasady działania.

7. ZADANIA DO WYKONANIA

OBLICZENIE DLA WSZYSTKICH OBCIĄŻEŃ:

- ciepła dostarczonego z paliwem;
- gęstości gorącego powietrza;
- prędkości strugi gorącego powietrza i prędkości średniej;
- strumienia objętości powietrza;
- starty wylotowej;
- sprawności cieplnej agregatu;
- jednostkowego zużycia paliwa;
- reszty start;
- obciążenia agregatu;
- strumienia ciepła dostarczonego z paliwem
- sporządzenie wykresu Sanke'ya

8. PROTOKÓŁ POMIAROWY

Wielkość		Obciążenie I					Obciążenie I					Obciążenie I									
τ	s																				
ppal	bar																				
Mpalp	kg																				
Mpaik	kg																				
pd	Pa																				
t _{pal}	°C																				
CO ₂	%																				
O ₂	%																				
CO	ppm																				
t _g	°C																				
		tot	pot	Q _w ^F	Q _{nom}	C _p															
		°C	Pa	kJ/kg	kW	kJ/kg·K															
																					0,25