Obliczenia komór paleniskowych

Zakres: Wstępne obliczenia objętości i przekrojów komór paleniskowych na podstawie przyjętych jednostkowych wskaźnikach objętościowego obciążenia cieplnego oraz obciążenia cieplnego przekroju poprzecznego komory spalania.

Wstępne wymiary komór paleniskowych podczas projektowania kotła ustala się na podstawie zależności na obciążenie cieplne objętości komory paleniskowej:

$$q_v = \frac{B \cdot Q_i}{V_k}, \quad \text{kW/m}^3 \tag{1}$$

gdzie: B – strumień paliwa, kg/s lub m^3/s
Q_i – wartość opałowa paliwa, kJ/kg lub kJ/m^3
V_k – objętość komory spalania, m^3

oraz zależności opisującej obciążenie cieplne pola powierzchni przekroju poprzecznego:

$$q_F = \frac{B \cdot Q_i}{F_k}, \quad \text{kW/m}^2 \tag{2}$$

gdzie: F_k – przekrój komory paleniskowej, m^2

Z zależności (1) możemy obliczyć objętość komory paleniskowej, natomiast z zależności (2) przekrój komory paleniskowej.

Orientacyjną wysokość komory paleniskowej możemy wyznaczyć z zależności:

$$H = \frac{V_k}{F_k}, \quad \text{m} \tag{3}$$

Wstępne określenie wymiarów komory paleniskowej służy do wykonania wstępnego szkicu projektowego kotła – w dalszej części wykonuje się pełne obliczenia cieplne dotyczące wymiany ciepła w komorze.

W przypadku palenisk pyłowych należy zachować tzw. smukłość komory paleniskowej, aby komora nie miała kształtu sześcianu. Ma to związek m.in. z zapewnieniem odpowiedniego czasu na wypalenie paliwa. Wskazane jest aby zachować stosunek H/a>3 (3–3,5).

Przykładowe wymiary ścian kotłów pyłowych: dla kotła typu OP–130 jest to ~6x6m, dla kotła typu OP–430 jest to ~9,6x9,6m.

Uwaga: Jeżeli chcemy w obliczeniach uwzględnić strumień paliwa rzeczywiście spalanego w palenisku (zawsze występują straty w postaci niecałkowitego spalania) należy użyć obliczoną wartość zużycia paliwa Bob:

$$B_{ob} = B*(1-S_n/100)$$

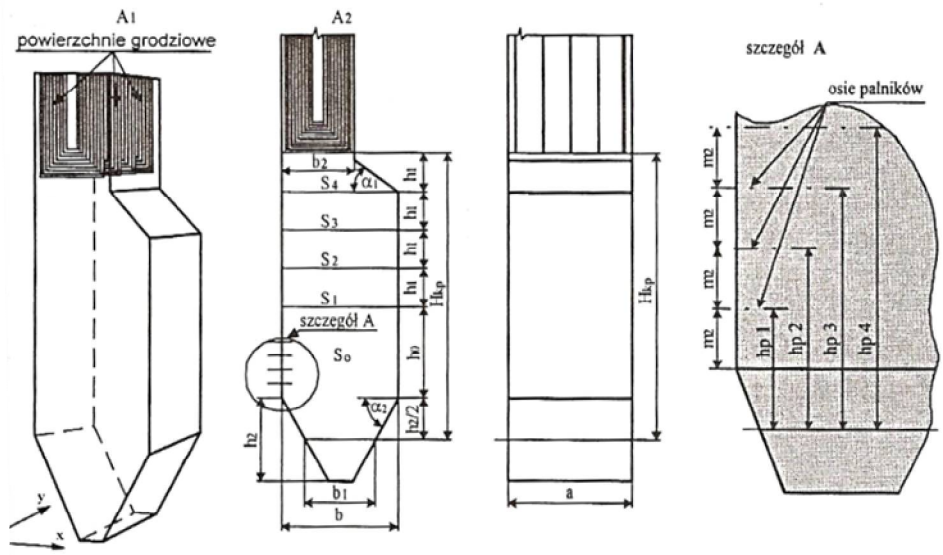
gdzie: S_n – strata niecałkowitego spalania, % (związana z udziałem części palnych w popiele i żużlu).

Tabela 1. Średnie straty niezupełnego spalania Sn, %

Rodzaj palenisk	Sn
z ręcznym rusztem płaskim przy spalaniu węgla kamiennego	6-7
z ręcznym rusztem płaskim przy spalaniu węgla brunatnego	7-11
z rusztem taśmowym przy spalaniu węgla kamiennego	5-6
z rusztem pochyłym mechanicznym przy spalaniu węgla brunatnego	6
pyłowe przy spalaniu węgla kamiennego	1,5-2
pyłowe przy spalaniu węgla brunatnego	0,5
Palenisko gazowe i olejowe	1-1,5

W przypadku palenisk pyłowych względny poziom położenia osi palników (h_p) jest to stosunek odległości miejsca występowania maksymalnej temperatury płomienia w komorze (X_p) (położenie względem osi palników liczonego od dna lub środka leja) do całkowitej wysokości komory paleniskowej (H_{pk}):

$$h_p=X_p/H_{kp}$$



Rys.1 – Schemat komory paleniskowej: A1 – szkic komory, A2 – podział komory na strefy, szczegół A – rozmieszczenie palników [2]

W przypadku umieszczenia palników na kilku piętrach (na różnej wysokości, co ma wpływ na miejsce występowania maksimum temperatury płomienia w komorze), wartość h_p wyznacza się ze wzoru:

$$h_p = (n_1B_1h_{p1} + n_2B_2h_{p2} + \ldots) / (n_1B_1 + n_2B_2 + \ldots)$$

gdzie: n_1, n_2, …– liczba palników w kolejnych rzędach (piętrach),
B1, B2, …– ilość paliwa doprowadzana do palnika na poszczególnych piętrach kg/s, m^3/s
h_{p1}, h_{p2}, …– wysokość położenia osi palników w kolejnych rzędach, liczona od dna paleniska lub od połowy wysokości leja

W przypadku, gdy maksimum temperatury płomienia wypada niżej lub wyżej od poziomu osi palników do wielkości x należy dodać poprawkę Δx uwzględniającą rodzaj paliwa, typ komory i typ palników (na podstawie doświadczeń – tabela).

$$x_m = x_p + \Delta x$$

x_m, x_p – względne położenie maksimum temperatury

Zalecany rozstaw palników pyłowych [2]:

Odległość, m	Palniki wirowe, układ frontowy lub przeciwległy		Palniki strumieniowe w narożach	
	D ≤ 7 kg/s	D > 7 kg/s	D ≤ 7 kg/s	D > 7 kg/s
Od osi dolnego rzędu palników do górnej krawędzi leja żużlowego	1,5-1,7	1,7-2,2	1,2-1,4	1,4-1,6
Od os palnika do ściany bocznej lub frontowej	1,5-1,7	1,7-2,2	–	–
Miedzy osiami palnika w kierunku poziomym na ścianie przedniej lub bocznej	1,6-2,0	2,0-2,5	–-	–
Między osiami palników w kierunku pionowym	1,6-2,0	2,0-2,5	1,2-1,4	1,4-1,6

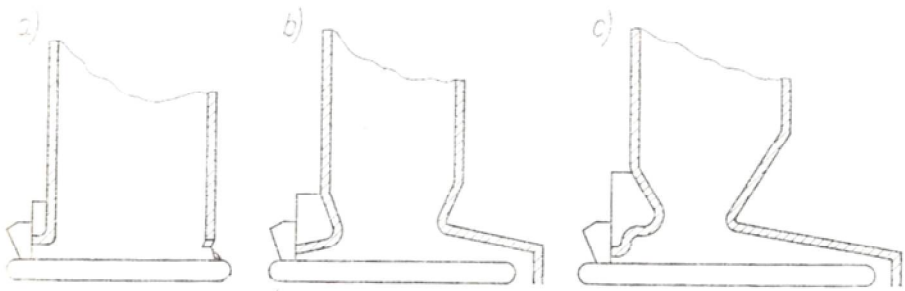
Generalnie palniki należy rozmieszczać w sposób zapewniający równomierne obciążenie komory paleniskowej.

Dla kotłów rusztowych wymiary komory paleniskowej narzuca powierzchnia rusztu, którą oblicza się ze wzoru:

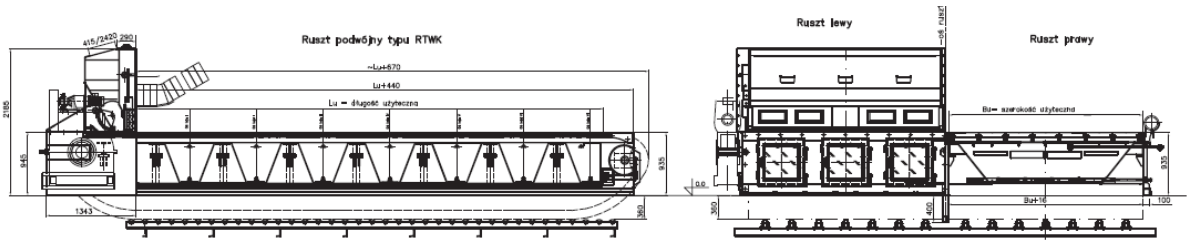
$$F_R = \frac{B \cdot Q_i}{q_R}, \ \mathrm{m^2}$$

gdzie: F_R – powierzchnia rusztu, m^2
q_R – dopuszczalne obciążenie cieplne $1m^2$ powierzchni rusztu, kW/m^2

Dla kotłów budowane są ruszty o znormalizowanych wymiarach – dobiera się je z katalogów według określonej wcześniej powierzchni [3].
Dodatkowym kryterium doboru rusztu jest dopuszczalne obciążenie masowe rusztu.

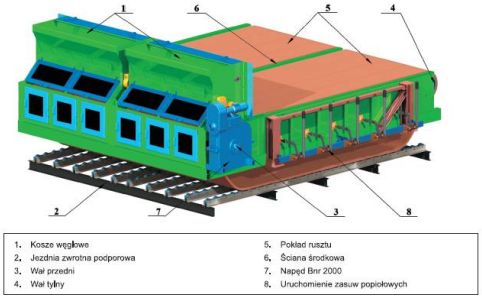


Rys.2 Przykładowe kształty komór paleniskowych z rusztami taśmowymi



Rys. 3 Przykład rusztu mechanicznego typ RTWK firmy ZUK STĄPORKÓW SA

- **Maksymalne obciążenie cieplne 1280 kW/m^2**
- Prędkość posuwu: 6,08x10^{-4} – 6,08x10^{-3} m/s
- Maksymalna grubość warstwy paliwa: 0,13m
- Zakres nadciśnienia w skrzyni powietrznej: 390-980Pa



Dane do obliczeń

W przypadku wstępnego projektowania komór spalania kotłów parowych przyjmuje się najczęściej następujące wartości objętościowego obciążenia cieplnego [1]:

- paleniska warstwowe z mechanicznym rusztem taśmowym: q_V = 250 – 300 kW/m^3
  q_F = 1000 – 2000 kW/m^2
- paleniska pyłowe: q_v = 150 – 250 kW/m^3
  q_F = 2000 – 4000 kW/m^2
- kotły na mazut lub gaz ziemny: q_v = 300 – 350 kW/m^3

(przyjmuje się większe wartości q_v w kotłach o większej wydajności)

Według innych źródeł [2] dla palenisk pyłowych ze stałym odprowadzaniem żużla przyjmuje się następujące wartości <u>objętościowego obciążenia cieplnego</u>:

- dla węgla kamiennego q_v= 200 – 230 kW/m^3,
- dla węgla brunatnego q_v= 150 – 180 kW/m^3,
- dla palenisk na olej opałowy lub gaz ziemny q_v= 280 – 350 kW/m^3,

natomiast jednostkowe obciążenie cieplne poziomego przekroju komory paleniskowej przyjmuje się w zakresie:

- dla kotłów pyłowych ze stałym odprowadzaniem żużla w zależności od wydajności kotła:
  - do 50 kg/s $q_F = 2300 – 2900$ kW/m^2
  - do 100 kg/s $q_F = 2900 – 3500$ kW/m^2
  - do 180 kg/s $q_F = 3500 – 4100$ kW/m^2
  - powyżej 180 kg/s $q_F = 4100 – 4700$ kW/m^2
- dla kotłów olejowych i gazowych $q_F = 3500 – 6000$ kW/m^2

Literatura:

1. Nocoń J., Poznański J., Słupek S., Technika cieplna – przykłady z techniki procesów spalania, Skrypt uczelniany AGH w Krakowie, Kraków 1994
2. Kruczek S., Kotły. Konstrukcje i obliczenia – Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001
3. Orłowski P., Dobrzański W., Szwarc E., Kotły parowe – konstrukcja i obliczenia, WNT, Warszawa 1979

Zestawienie tabelaryczne danych

TYP PALENISKA		PALIWO	OBCIĄŻENIE CIEPLNE KOMORY PAL.	
			OBJĘTOŚCI	POWIERZCHNI / RUSZTU
			q_v [kW/m^3]	q_F [kW/m^2]
PYŁOWE	Ze stałym odprowadzeniem żużla	WĘGIEL KAMIENNY	200÷230	*W zależności od wydajności (pary)*: < 50 kg/s: 2300÷2900 < 100 kg/s: 2900÷3500 < 180 kg/s: 3500÷4100 > 180 kg/s: 4100÷4700
		WĘGIEL BRUNATNY	150÷180	
OLEJOWE	-	OLEJ LUB GAZ	300÷350	3500÷6000
	Typ rusztu:	PALIWO	q_v [kW/m^3]	q_R [kW/m^2]
RUSZTOWE	Płaski ręczny, ciąg naturalny	GROSZEK	250÷300	558÷698
	Płaski ręczny, ciąg naturalny lub podmuch.	MIAŁ		698÷872
	Taśmowy, mechaniczny bez podmuchu	GRYSIK		698÷837
	Taśmowy, mechaniczny z urz. podmuchu	MIAŁ		756÷1047
	Schodkowy ręczny	WĘGIEL BRUNATNY		582÷698
		TORF I TROCINY		582÷698
	Pochyły, posuwisto-zwrotny	WĘGIEL BRUNATNY		940÷1163

Przykład 1 [1]:

Określić wielkość prostopadłościennej komory spalania kotła jeżeli kocioł opalany jest węglem kamiennym o wartości opałowej Q_i = 22500 kJ/kg, a strumień paliwa B= 8,0 t/h.

Rozwiązanie

Objętość komory spalania z zależności (1) po przyjęciu q_v= 250 kW/m^3 [1]:

$V_k = B*Q_i/q_v = 8000*22500/(3600*250) = 200$ m^3

Przekrój komory spalania z zależności (2) po przyjęciu q_F= 2000 kW/m^2:

$F_k = B*Q_i/q_F = 8000*22500/(3600*2000) = 25$ m^2

Wysokość komory $h=V_k/F_k$= 200/25 = 8 m

Przykład 2 [1]:
Określić wymiary pieca kuziennego opalanego gazem ziemnym o wartości opałowej Q_i= 34030 kJ/m^3. W piecu nagrzewane są kęsy o maksymalnej długości 1 m. Wydajność pieca W= 250 kg/h, a jednostkowe zużycie ciepła na nagrzanie stali q_j=3400 kJ/kg.
Rozwiązanie
Obliczenie strumienia gazu ziemnego: $V_g = W*q_j/Q_i$, m^3/s
W= 250 kg/h= 0,069 kg/s
V_g= 0,069*3400/34030= 0,00689 m^3/s
Przyjmuje się obciążenie cieplne objętości komory spalania q_v=100 kW/m^3 - wówczas objętość komory spalania wynosi:
$V_k=V_g*Q_i/q_v$=0,00689*34030/100=2,35 m3
Przyjmując, że wsad zajmuje 5% objętości komory pieca, objętość komory wyniesie:
V= 2,35 + 2,35*5/100 = 2,48 m^3
Nagrzewane kęsy posiadają maksymalna długość l=1m, więc przyjmuje się długość pieca L= 1,8m , a szerokość a=1,2m.
Wysokość wynosi: h = V/(a*L) = 2,48/(1,2*1,8) = 1,15 m

Przykład 3:
Określić wielkość prostopadłościennej komory spalania kotła rusztowego jeżeli:
kocioł opalany jest węglem kamiennym o wartości opałowej Q_i = 21500 kJ/kg i strumień paliwa B= 4,0 t/h.
Rozwiązanie
Dla kotłów rusztowych wymiary komory paleniskowej narzuca powierzchnia rusztu:

$$F_R = B*Q_i/q_R = 4000*21500/(3600*900) = 26,5 \text{ m}^2$$

Po obliczeniu pow. rusztu jego wymiary dobieramy z tablic [np.3]:
wys. 940mm, szer. 3700mm, dł.7500mm.
qr ≈ 900 kW/m^2 (dla rusztu taśmowego mechanicznego z urządzeniem podmuchu)

Przykład 4 (określenie zapotrzebowania na paliwo)

Określić koszt paliwa na pokrycie zapotrzebowania na ciepło na poziomie 300 GJ/rok przy spalaniu gazu płynnego o wartości opałowej Q_i = 24000 kJ/dm^3 i cenie wynoszącej 1,586 zł/dm^3 (z VAT :-). Sprawność średnioroczną instalacji kotłowej przyjąć na poziomie 90%.
Rozwiązanie
Roczne zapotrzebowanie na paliwo:

$$B = \frac{Q[kJ]}{\eta \cdot Q_i\left[\frac{kJ}{dm^3}\right]} = \frac{300 \cdot 10^6}{0{,}9 \cdot 24000} = 13889\,\frac{dm^3}{\text{rok}}$$

Roczny koszt paliwa wyniesie: 13889x1,586= 24010 zł/rok

Obliczyć dla tego samego zapotrzebowania na ciepło zapotrzebowanie na gaz ziemny GZ50.
Dla spalania gazu GZ50 wartość opałowa Q_i = 35922 kJ/m^3 (wg Lab. Chemicznego Dolnośląskiego Zakładu Gazowniczego):

$$B = \frac{Q[kJ]}{\eta \cdot Q_i\left[\frac{kJ}{m^3}\right]} = \frac{300 \cdot 10^6}{0{,}9 \cdot 35922} = 9279\,\frac{m^3}{\text{rok}}$$

Przykład 5 (obliczenie strumienia paliwa i wielkości paleniska)

W kotle o sprawności energetycznej η_k=0,78 spalany jest węgiel kamienny o składzie (w stanie roboczym):

C=65%, H=6%, S=5%, N=4%, O=10%, W=10%.

Para na wylocie z kotła ma parametry: m_p=1150 $^t/_h$, i_p=13Mpa, t_p=560°C, a woda zasilająca ma temp. t_w=80°C.

Obliczyć strumień masy spalanego węgla.

Rozwiązanie:

Wartość opałowa wg formuły Mendelejewa Q_i= 339,15*C+1030*H-108,9(O-S)-25,1*W, kJ/kg

Q_i= 21311 kJ/kg

Z wykresu i-s dla p=13Mpa i T=833K i_p=3510 kJ/kg

Z tablic dla t_w=80°C i_w=258,8 kJ/kg

$$\eta = \frac{m_p \cdot (i_p - i_w)}{B \cdot Q_i}, \qquad B = \frac{m_p \cdot (i_p - i_w)}{\eta \cdot Q_i}$$

$$B = \frac{1150\frac{t}{h} \cdot (3510 - 258{,}8)\frac{kJ}{kg}}{0{,}78 \cdot 21311\frac{kJ}{kg}} = 225\frac{t}{h}$$

Wskaźniki jednostkowego obciążenia cieplnego dla kotła pyłowego przyjęto na poziomie: q_v= 200 kW/m^3 , q_F= 4500 kW/m^3

Objętość komory spalania z zależności:

V_k = B*Q_i/q_v = 225000*21311/(3600*200) = 6660 m^3

Przekrój komory spalania:

F_k = B*Q_i/q_F = 225000*21311/(3600*4500) = 296m^2

Wysokość komory h=V_k/F_k= 6660/296 = 22,5 m