

.....  
Imię i nazwisko

.....  
data

.....  
ocena

**Zadanie 1**

Dla kotła energetycznego o podanej charakterystyce wykonać następujące obliczenia:

- o unos popiołu lotnego i dwutlenku siarki w spalinach dla podanych poniżej paliw (węgiel 1 i węgiel 2)
- o emisja popiołu lotnego i dwutlenku siarki do atmosfery dla zadanych skuteczności odpylania i skuteczności odsiarczania spalin

<b>Charakterystyka kotła</b>	moc cieplna, Q			MW
	rodzaj paleniska (*niewłaściwe skreśl)	rusztowe*	pyłowe*	
	sprawność cieplna kotła brutto, $\eta_k$			%
		<b>węgiel 1</b>	<b>węgiel 2</b>	
<b>Charakterystyka paliwa</b>	wartość opałowa, $Q_i^r$			kJ/kg
	zawartość popiołu w paliwie, $A^r$			%
	zawartość siarki w paliwie, $S^r$			%
<b>Charakterystyka instalacji ochrony atmosfery</b>	skuteczność odpylania, $\eta_c$			%
	skuteczność odsiarczania, $\eta_{SO_2}$			%
<b>Wyniki obliczeń</b>				
Unos pyłu, $U_{pył}$				kg/h
Emisja pyłu, $E_{pył}$				kg/h
Unos dwutlenku siarki, $U_{SO_2}$				kg/h
Emisja dwutlenku siarki, $E_{SO_2}$				kg/h

**Uwagi**

1. Sprawność cieplna kotła brutto  $\eta_k$  definiowana jest jako  $\eta_k = Q / (B \cdot Q_i^r)$ , gdzie: Q – moc cieplna, B – zużycie paliwa,  $Q_i^r$  – wartość opałowa paliwa.
2. Przy wykonywaniu obliczeń proszę podać wzór, z którego się korzysta (po wszystkich niezbędnych przekształceniach – należy unikać wykonywania obliczeń cząstkowych), dane, które wstawia się do wzoru (wraz z jednostkami miar) oraz wynik końcowy (wraz z jednostką miary). Wyniki obliczeń strumieni mas podać z dokładnością  $\pm 1$  kg/h

.....  
Imię i nazwisko.....  
data.....  
ocena**Zadanie 2**

W instalacji odpylającej wykonano pomiary, których wyniki przedstawiono w tabeli poniżej. Obliczyć i przedstawić na schemacie wartości wszystkich strumieni masy pyłu w instalacji. Obliczyć i podać na schemacie (pod tabelą) wartości skuteczność działania 1 i 2 stopnia odpylania gazu oraz skuteczność odpylania gazu w całej instalacji.

WLOT GAZU DO 1 STOPNIA ODPYLANIA		
Stężenie pyłu w gazie	$S_1, \text{g/m}^3_u$	
Strumień objętości gazu w warunkach pomiaru	$q_{v1}, \text{m}^3/\text{s}$	
Gęstość gazu w warunkach pomiaru	$\rho_1, \text{kg/m}^3$	
Gęstość gazu w warunkach umownych	$\rho_{1u}, \text{kg/m}^3_u$	
WLOT GAZU DO 2 STOPNIA ODPYLANIA		
Stężenie pyłu w gazie	$S_2, \text{g/m}^3_u$	
Strumień objętości gazu w warunkach pomiaru	$q_{v2}, \text{m}^3/\text{s}$	
Gęstość gazu w warunkach pomiaru	$\rho_2, \text{kg/m}^3$	
Gęstość gazu w warunkach umownych	$\rho_{2u}, \text{kg/m}^3_u$	
WYLOT GAZU DO ATMOSFERY		
Stężenie pyłu w gazie	$S_E, \text{mg/m}^3_u$	
Strumień objętości gazu w warunkach pomiaru	$q_{vE}, \text{m}^3/\text{s}$	
Gęstość gazu w warunkach pomiaru	$\rho_E, \text{kg/m}^3$	
Gęstość gazu w warunkach umownych	$\rho_{Eu}, \text{kg/m}^3_u$	
PYŁ WYTRĄCONY W 1 STOPNIU ODPYLANIA		
Masa pyłu	$m_{z1}, \text{kg}$	
Czas pomiaru	$\Delta\tau_1, \text{s}$	
PYŁ WYTRĄCONY W 2 STOPNIU ODPYLANIA		
Masa pyłu	$m_{z2}, \text{kg}$	
Czas pomiaru	$\Delta\tau_2, \text{s}$	

**Uwagi**

- $m^3_u$  – odniesiony do umownych wartości ciśnienia absolutnego (1013 hPa) i temperatury absolutnej (273 K) oraz do rzeczywistego składu chemicznego gazu.
- Przy wykonywaniu obliczeń proszę podać wzór, z którego się korzysta (po wszystkich niezbędnych przekształceniach – należy unikać wykonywania obliczeń cząstkowych), dane, które wstawia się do wzoru (wraz z jednostkami miar) oraz wynik końcowy (wraz z jednostką miary). Wyniki obliczeń strumieni mas pyłu podać z dokładnością  $\pm 0,1 \text{ kg/h}$  a skuteczności odpylania z dokładnością  $\pm 0,1 \%$

**Schemat**

.....  
Imię i nazwisko

.....  
data

.....  
ocena

**Zadanie 3**

Dla odpylacza o podanej na wykresie charakterystyce przedziałowej skuteczności odpylania oraz dla pyłów o podanym składzie ziarnowym oszacować przewidywaną całkowitą skuteczność odpylania. Skomentować uzyskane wyniki obliczeń całkowitej skuteczności odpylania.

$\delta_{i-1} - \delta_i$	$\delta_{sr}^*$	$\eta_{pi}$	UNOS 1			UNOS 2		
			$R_i$	$\Delta R_i$	$\eta_{pi} \Delta R_i$	$R_i$	$\Delta R_i$	$\eta_{pi} \Delta R_i$
$\mu m$	$\mu m$	%	%	%	%	%	%	%
0 - 3	1,5							
3 - 5								
5 - 10								
10 - 15								
15 - 20								
20 - 25								
25 - 30								
30 - 40								
40 - 50								
50 - 100								
100 - 200								
>200								
$\Sigma \Delta R_i$								
Całkowita skuteczność odpylania								
* $\delta_{sr} = \sqrt{\delta_{i-1} \cdot \delta_i} \pm 1 \mu m$ (za wyjątkiem wiersza 1)								

Przy wykonywaniu obliczeń proszę podać wzór, z którego się korzysta (po wszystkich niezbędnych przekształceniach – należy unikać wykonywania obliczeń cząstkowych), dane, które wstawia się do wzoru (wraz z jednostkami miar) oraz wynik końcowy (wraz z jednostką miary). Wyniki obliczeń skuteczności odpylania podać z dokładnością  $\pm \Delta \eta_c = 0,1 \%$ .

.....  
*Imię i nazwisko* ..... *data* ..... *ocena* .....

**Zadanie 4**

Wykorzystując przedstawione poniżej dane pomiarowe oraz zakładając, że nominalna prędkość wlotowa gazu do cyklonu wynosi 12 m/s, dobrać z katalogu baterię odpylaczy cyklonowych typoszeregu CE. Następnie oszacować średnicę ziarna granicznego i spadek ciśnienia gazu w baterii cyklonów typu CE/04 oraz w baterii cyklonów typu CE/05 i skomentować różnice w wartościach ziarna granicznego i spadku ciśnienia oszacowanych dla obu typów cyklonów.

Dane pomiarowe	ciśnienie barometryczne		$P_b$	hPa	1000	
	ciśnienie manometryczne spalin za kotłem		$P_m$	Pa		
	temperatura spalin za kotłem		$t$	$^{\circ}C$		
	skład chemiczny spalin wilgotnych i gęstość składników spalin w warunkach umownych	1,977 kg/m <sup>3</sup> <sub>u</sub>	CO <sub>2</sub>	%		
		1,429 kg/m <sup>3</sup> <sub>u</sub>	O <sub>2</sub>	%		
		1,250 kg/m <sup>3</sup> <sub>u</sub>	N <sub>2</sub>	%		
		0,804 kg/m <sup>3</sup> <sub>u</sub>	H <sub>2</sub> O	%		
średnia wartość ciśnienia dynamicznego spalin (pomiar rurką Prandtla)		$P_d$	Pa			
pole powierzchni przekroju pomiarowego		$A$	m <sup>2</sup>			
Wyniki obliczeń	gęstość spalin wilgotnych w warunkach umownych ( $\pm 0,01$ kg/m <sup>3</sup> )		$\rho_u$	kg/m <sup>3</sup> <sub>u</sub>		
	gęstość spalin wilgotnych w warunkach rzeczywistych ( $\pm 0,01$ kg/m <sup>3</sup> )		$\rho$	kg/m <sup>3</sup>		
	prędkość spalin ( $\pm 0,1$ m/s)		$v$	m/s		
	strumień objętości spalin ( $\pm 0,01$ m <sup>3</sup> /s)		$q_v$	m <sup>3</sup> /s		
Dane katalogowe producenta	typ - ilość x średnica dobranych cyklonów (w mm)					
	prędkość wlotowa spalin do cyklonu ( $\pm 0,1$ m/s)		$v_0$	m/s		
	CE/04	spadek ciśnienia gazu w cyklonie ( $\pm 50$ Pa)		$\Delta P$	Pa	
		średnica ziarna granicznego ( $\pm 0,5$ $\mu$ m)		$\delta_{gr}$	$\mu$ m	
	CE/05	spadek ciśnienia gazu w cyklonie ( $\pm 50$ Pa)		$\Delta P$	Pa	
średnica ziarna granicznego ( $\pm 0,5$ $\mu$ m)		$\delta_{gr}$	$\mu$ m			

Przy wykonywaniu obliczeń proszę podać wzór, z którego się korzysta (po wszystkich niezbędnych przekształceniach – należy unikać wykonywania obliczeń cząstkowych), dane, które wstawia się do wzoru (wraz z jednostkami miar) oraz wynik końcowy (wraz z jednostką miary).

.....  
 Imię i nazwisko ..... data ..... ocena .....

**Zadanie 5**

Procesowi mokrego odsiarczania poddane zostały spaliny pochodzące ze spalania paliwa o parametrach podanych w poniższej tabeli. Dla znanej skuteczności odsiarczania należy wyznaczyć zużycie sorbentu CaCO<sub>3</sub> (wapienia) oraz strumień masy wody traconej w trakcie procesu odsiarczania.

Dane wyjściowe	Typ kotła		
	Rodzaj spalane go paliwa	(*niewłaśc iwe skreśl)	
	Zużycie paliwa	B	Mg/h
	Wartość opałowa paliwa	Q <sub>i</sub> <sup>r</sup>	kJ/kg
	Zawartość siarki w paliwie	S <sup>r</sup>	%
	Udział O <sub>2</sub> w spalinach za kotłem	O <sub>2</sub>	%
	Temperatura spalin przed absorberem	t <sub>s1</sub>	°C
	Temperatura spalin za absorberem	t <sub>s2</sub>	°C
	Skuteczność odsiarczania	η <sub>SO<sub>2</sub></sub>	%
	Temperatura wody na wlocie do układu	t <sub>wp</sub>	°C
Wyniki obliczeń	Strumień objętości spalin wilgotnych w warunkach umownych (P <sub>u</sub> , T <sub>u</sub> ) – przed absorberem	(q <sub>v</sub> ) <sub>u</sub>	um <sup>3</sup> /h
	Unos SO <sub>2</sub> w spalinach kotłowych	U <sub>SO<sub>2</sub></sub>	kg/h
	Strumień masy przereagowanego sorbentu	R <sub>CaCO<sub>3</sub></sub>	kg/h
	Strumień masy produktu reakcji – gipsu (CaSO <sub>4</sub> • 2H <sub>2</sub> O)	M <sub>gips</sub>	kg/h
	Strumień masy wody traconej w instalacji w wyniku odparowania	M <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	kg/h

Przy wykonywaniu obliczeń proszę podać wzór, z którego się korzysta (po wszystkich niezbędnych przekształceniach – należy unikać wykonywania obliczeń cząstkowych), dane, które wstawia się do wzoru (wraz z jednostkami miar) oraz wynik końcowy (wraz z jednostką miary). Strumień objętości spalin podać z dokładnością ± 10 um<sup>3</sup>/h, strumienie mas podać z dokładnością ± 1 kg/h.

**Wzory pomocnicze**

Teoretyczna objętość spalin wilgotnych ze spalania 1 kg węgla o danej wartości opałowej dla współczynnika nadmiaru powietrza λ = 1, um <sup>3</sup> /kg	$V_{min}^t = 0,89 \frac{Q_i^r}{41868} + 1,65$
Teoretyczne zapotrzebowanie powietrza do spalania 1 kg węgla o danej wartości opałowej, um <sup>3</sup> /kg	$V_p^t = 1,012 \frac{Q_i^r}{41868} + 0,5$
Współczynnik nadmiaru powietrza	$\lambda = \frac{20,9}{20,9 - O_2}$
Strumień masy wody traconej w instalacji w wyniku odparowania Dane tablicowe: temperatura parowania kropli wody t <sub>wk</sub> = 100°, ciepło właściwe: spalin C <sub>ps</sub> = 1,0825 kJ/(kg K), wody C <sub>pw</sub> = 4,181 kJ/(kg K), ciepło parowania wody C <sub>r</sub> = 2149,5 kJ/kg gęstość spalin wilgotnych w warunkach umownych: dla węgla kamiennego ρ <sub>u</sub> = 1,30 kg/m <sup>3</sup> , dla węgla brunatnego ρ <sub>u</sub> = 1,26 kg/m <sup>3</sup>	$M_{H_2O} = \frac{(q_v)_u \rho_u C_{ps} (t_{s1} - t_{s2})}{C_r + C_{pw} (t_{wk} - t_{wp})}$

.....  
 Imię i nazwisko ..... data ..... ocena .....

**Zadanie 6**

Procesowi odsiarczania metodą pól suchą (*dry scrubbing*) z wykorzystaniem sorbentu  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  poddane zostały spaliny pochodzące ze spalania paliwa o parametrach podanych w poniższej tabeli. Charakterystykę wpływu stosunku Ca/S (dla zakresu  $\text{Ca}/\text{S}=1\div 2$ ) na skuteczność odsiarczania wyrażoną w % opisuje wzór empiryczny  $\eta_{\text{SO}_2} = 2Q(\text{Ca}/\text{S}) + 44$ . Obliczyć stężenie  $\text{SO}_2$  w spalinach emitowanych do atmosfery oraz sporządzić bilans sorbentu w instalacji odsiarczającej (schemat).

Dane wyjściowe	Typ kotła		
	Rodzaj spalanego paliwa	<i>(niewłaściwe skreśl)</i>	
	Zużycie paliwa	B	Mg/h
	Wartość opałowa paliwa	$Q_i^r$	kJ/kg
	Zawartość siarki w paliwie	$S^r$	%
	Skuteczność odsiarczania	$\eta_{\text{SO}_2}$	%
	Udział $\text{O}_2$ w spalinach za kotłem	$\text{O}_2$	%
Wyniki obliczeń	Strumień objętości spalin wilgotnych w warunkach umownych ( $P_u, T_u$ )	$(q_v)_u$	$\text{um}^3/\text{h}$
	Unos $\text{SO}_2$ w spalinach kotłowych	$U_{\text{SO}_2}$	kg/h
	Stężenie $\text{SO}_2$ w spalinach emitowanych do atmosfery odniesione do warunków umownych ( $P_u, T_u$ )	$S_{\text{SO}_2}$	$\text{mg}/\text{m}^3$
	Stosunek molowy Ca/S	Ca/S	-
	Strumień masy sorbentu wprowadzonego do instalacji odsiarczającej	$M_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$	kg/h
	Strumień masy nieprzereagowanego sorbentu	$\Delta M_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$	kg/h
	Strumień masy produktu reakcji ( $\text{CaSO}_3$ )	$M_{\text{CaSO}_3}$	kg/h

Przy wykonywaniu obliczeń proszę podać wzór, z którego się korzysta (po wszystkich niezbędnych przekształceniach – należy unikać wykonywania obliczeń cząstkowych), dane, które wstawia się do wzoru (wraz z jednostkami miar) oraz wynik końcowy (wraz z jednostką miary). Strumień objętości spalin podać z dokładnością  $\pm 10 \text{ um}^3/\text{h}$ , strumienie mas podać z dokładnością  $\pm 1 \text{ kg/h}$ .

**Wzory pomocnicze**

Teoretyczna objętość spalin wilgotnych ze spalania 1 kg węgla o danej wartości opałowej dla współczynnika nadmiaru powietrza $\lambda = 1, \text{ um}^3/\text{kg}$	$V_{\text{min}}^t = 0,89 \frac{Q_i^r}{4186,8} + 1,65$
Teoretyczne zapotrzebowanie powietrza do spalania 1 kg węgla o danej wartości opałowej, $\text{um}^3/\text{kg}$	$V_p^t = 1,012 \frac{Q_i^r}{4186,8} + 0,5$
Współczynnik nadmiaru powietrza	$\lambda = \frac{20,9}{20,9 - \text{O}_2}$

**Schemat:** Bilans sorbentu w instalacji