

mgr inż. Ryszard Samoć

rzecznik Ministerstwa Ochrony Środowiska Zasobów

Naturalnych i Leśnictwa nr. 556

62-800 Kalisz, ul. Biernackiego 8

tel. 62 757 39 87

rs@proeko.kalisz.pl

Algorytmy obliczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery stosowane w programie "EMISJA" dla Windows oraz walidacja programu

1. Wstęp

Pierwszą wersję programu "Emisja" opracowałem w 1984 roku na mikrokomputer ZX Spectrum, w 1987 roku opracowałem program na IBM PC w wersji dla DOS, a w 1998 r dla Windows.

Program "Emisja" oprócz podstawowego celu jakim jest obliczania emisji pyłów i gazów, drukowania wyników i danych umożliwia m.in.:

- obliczenie błędu pomiaru emisji,
- obliczenie sumy emisji z kanałów pomiarowych,
- obliczenie sprawności urządzeń oczyszczających dla dowolnej ilości kanałów pomiarowych przed i za urządzeniami,
- obliczenie odchylenia standardowego,
- obliczenie wyników odbiegających wg. testu Dixona,
- obliczenie przekroczenia dopuszczalnej emisji oraz kary za przekroczenie,
- sprawozdania roczne lub dla dowolnego okresu, miejscowości i branży,
- sprawozdania z ilości pomiarów i analiz poszczególnych zanieczyszczeń.

Oprócz obliczeń stężenia i emisji pyłu określonej wagowo program umożliwia obliczenie stężeń i emisji innych zanieczyszczeń pyłowych i gazowych poprzez wpisanie pośrednich danych analitycznych dla pomiarów manualnych lub wyników analiz automatycznych.

Istnieje także możliwość importu danych z Emitestu i Emiotestu zawierających wyniki pomiarów parametrów gazu w kanale, stężenia i emisji pyłu

Przedstawione poniżej algorytmy obliczeń strumienia masy pyłu w programie "Emisja" dla Windows są całkowicie zgodne z PN-Z-04030-7.

W celu walidacji programu zestawiono wprowadzane dane i wyniki obliczeń oraz dodano przykładowy wydruk danych i wyników z programu "Emisja" dla Windows.

Obliczenie emisji składa się z obliczenia gęstości gazu suchego, wilgotności gazów, gęstości gazu wilgotnego, prędkości gazów w kanale, stężeń zanieczyszczeń oraz emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Poniżej opis poszczególnych etapów.

2. Obliczanie gęstości

2.1. Gęstość gazu suchego

Najpierw oblicza się stałą gazową wg. wzoru:

$$R_s = \frac{8314,7}{\sum_{i=1}^{i=n} U_i \mu_i}, \text{ J/kg K} \quad (\text{I-9}^*)$$

gdzie: μ_i - masa cząsteczkowa i-tego składnika mieszaniny
 u_i - udział objętościowy i-tego składnika.

Następnie oblicza się umowną gęstość gazu suchego, ze wzoru:

$$\rho_{su} = \frac{371,06}{R_s}, \text{ kg/m}^3 \quad (\text{I-10})$$

Przykład obliczeń:

Nazwa składnika	N ₂	O ₂	CO ₂	CO
Ułamek objętościowy	0,755	0,18	0,060	0,005
Masa cząsteczkowa	28,016	32,00	44,01	28,01
$u_i \cdot \mu_i$	21,15208	5,76	2,6406	0,14005
Razem				29,69273

$$R_s = 8314,7/29,69273 = 280,024773741 \text{ J/kg K}$$

$$\rho_{su} = 371,06/280,024773741 = 1,325097 \text{ kg/m}^3$$

* w nawiasach podano numery wzorów wg. normy PN-Z-04030-7:1994

Uwaga: liczby powinny być tutaj podawane z dokładnością 3 do 4 miejsc znaczących - bo taka jest dokładność pomiarów, ale ze względu na dalsze obliczenia oraz w celu umożliwienia kontroli obliczeń - liczby są podawane z dokładnością większą o kilka rzędów.

2.2. Obliczenie wilgotności gazu

1. Obliczenie wilgotności metodą kondensacyjną:

Wzór na stopień zawilżenia wg. normy

$$X = X_n + \frac{3600 \cdot m_{H_2O} \cdot (1 + X_n)}{\rho_v \cdot \dot{V}_v \cdot \Delta\tau}, \text{ kg/kg} \quad (\text{Z-10})$$

gdzie:

ρ_{vS} - gęstość częściowego strumienia gazu suchego kg/m³

\dot{V}_v - częściowy strumień objętości gazu w m³/h

X_n - stopień zawilżenia w stanie nasycenia w temperaturze panującej w odkraplaczu lub jeżeli przepływomierz nie posiada ogrzewania - temperatura w przepływomierzu.

m_{H_2O} - masa wydzielonych kropli, kg

$\Delta\tau$ - czas zbierania kropli, sek.

W przypadku pomiarów manualnych, ekipy pomiarowe mierzą zwykle nie strumień objętości gazu i czas przepływu ale ilość przepuszczonego gazu np. gazomierzem - dlatego przekształcono powyższy wzór uwzględniając, że objętość przepuszczonego gazu:

$$V_s = \frac{V_{vs} \Delta\tau}{3600}, m^3$$

$$\Delta\tau = 3600 V_s / V_{vs}$$

Po podstawieniu:

$$X = \frac{\rho_{vs} X_n + m_{H_2O} / V_s}{\rho_{vs}}$$

Objętość gazu w gazomierzu jest odczytywana w warunkach rzeczywistych dlatego jest przeliczana na warunki umowne wg. wzoru:

$$V_{gu} = V_{gr} \cdot 273 / (tg+273) \cdot (Pb - 1,333 \cdot pg) / 1013 \quad , m^3$$

gdzie :

V_{gr} - objętość gazu przepuszczonego przez gazomierz m^3

tg - temperatura gazomierza $^{\circ}C$

Pb - ciśnienie atmosferyczne Pa

pg - podciśnienie w gazomierzu mmHg

Uwaga: w normie stosuje się w obliczeniach temperaturę umowną 273 K zamiast dokładniej 273,16 K i ciśnienie 1013 hPa zamiast 1013,2 hPa. Ogranicza się więc wyniki do 3 miejsc znaczących w przypadku występowania we wzorze temperatury.

W celu uzyskania zgodności z zalecaną metodyką w programie zastosowano podobne uproszczenia.

Przykład obliczeń:

Masa zebranej wody	0,3 kg
Objętość przepuszczonego gazu	5 m^3
Temperatura gazomierza	30 $^{\circ}C$
Podciśnienie w gazomierzu	40 mm Hg
Stopień zawilżenia w stanie nasyc.	0,0272 kg/kg dla 30 $^{\circ}C$
Ciśnienie atmosferyczne	1005 hPa
Gęstość gazu suchego	1,325097 kg/ m^3

Ilość przepuszczonego gazu w warunkach umownych

$$V_{gu} = 5 \cdot 273 / (273+30) \cdot (1005 - 1,333 \cdot 2729 \cdot 40) / 1013 = 4,232203466 m^3$$

$$X = \frac{1,325097 \cdot 0,0272 + 0,3 / 4,2323}{1,325097} = 0,080694241 \text{ kg/kg}$$

W celu obliczenia wilgotności podawanej w innych jednostkach zastosowano w programie następujące wzory (nie ujęte w normie) :

2. Metoda absorpcyjna

W przypadku tej metody nie uwzględnia się członu zawierającego wilgotność w stanie nasycenia ponieważ zakłada się, że cała wilgoć jest pochłonięta przez adsorber.

Po przekształceniu:

$$X = \frac{m_{H_2O}}{\rho_{vs} V_s}$$

Dla wyżej podanego przykładu $X = 0,3 / 4,232203466 / 1,325097044 = 0,053494$ kg/kg.

3. Obliczenie wilgotności metodą psychrometryczną

$$X = \frac{F \cdot 0,804}{\rho_{su}}, \text{ kg/kg} \quad (\text{Z-15})$$

gdzie: $F = P_p / (P_\Phi - P_p)$
 $P_p = P_{nm} - C_\Phi \Delta P_\Phi$, hPa
 $C_\Phi = (65 + 6,75/w_m) * 10^{-5}$

P_Φ - ciśnienie bezwzględne gazu w psychrometrze

$\Delta t = t_s - t_m$ - różnica wskazań termometru suchego i mokrego, K

P_{mn} - ciśnienie nasycenia H_2O w temperaturze t_m odczytane z tablicy, hPa

w_m - prędkość gazu opływającego termometr m/s

ρ_{su} - gęstość gazu suchego, kg/m³

C_Φ - współczynnik psychrometryczny K⁻¹

Przykład obliczeń:

Ciśnienie bezwzględne w psychrometrze	1000 hPa (100 000 Pa)
Temperatura term. suchego	30 °C
Ciśnienie nasycenia H_2O w temp. 29,7 °C	41,7052 hPa
Prędkość gazu omywającego termometr	2,9722 m/s
Różnica temperatur	0,3 K

Współczynnik psychrometryczny

$$C\varphi = (65 + 6,75/2,97) * 10^{-5} = 0,00067271045 \text{ K}^{-1}$$

Ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa

$$P_p = 4170,52 - 0,00067271045 * 0,3 * 100000 = 4150,3387 \text{ Pa}$$

Współczynnik F

$$F = 4150,3387 / (100000 - 4150,3387) = 0,0433005$$

Stopień zawilżenia X

$$X = 0,0433005 * 0,804 / 1,325097 = 0,0262725 \text{ kg/kg}$$

Uwaga: w programie prędkość gazu przy termometrze jest obliczana na podstawie natężenia przepływu gazu przez psychrometr i opcjonalnie ustalonej powierzchni przekroju psychrometru.

Wilgotność w kg/m^3 gazu wilgotnego można obliczyć wg. wzoru (wzór nie pochodzi z normy):

$$W_u = \frac{X}{\frac{1}{\rho_{vs}} + \frac{X}{0,804}}$$

Przykład obliczeń:

$$W_u = 0,0262725 / (1/1,325097 + 0,0262725/0,804) = 0,033368729 \text{ kg/um. m}^3 \text{ g.w.}$$

Procentowa zawartość wilgoci w gazie

$$W_{\text{proc}} = W_u / 0,804 * 100$$

dla powyższego przykładu

$$W_{\text{proc}} = 4,1528 \text{ \%}$$

2.3. Obliczenie gęstości gazu wilgotnego

Najpierw należy obliczyć stałą gazową dla gazu wilgotnego:

$$R = \frac{R_s + 461,5X}{1 + X}, \text{ J/kg}\cdot\text{K} \quad (\text{I-14})$$

Umowna gęstość gazu wilgotnego jest obliczana ze wzoru:

$$\rho_u = \frac{371,06}{R}, \text{ kg/m}^3 \quad (\text{I-15})$$

Przykład obliczeń:

$$R = (280,024774 + 461,5 \cdot 0,0806942)/(1+0,0806942) = 293,575321 \text{ J/kg K}$$

$$\rho_u = 371,06/293,5753277 = \mathbf{1,26393455 \text{ kg/m}^3}$$

Gęstość w warunkach rzeczywistych jest obliczane wg. wzoru:

$$\rho = \frac{273}{101300} \cdot \rho_u \cdot \frac{P}{T}, \text{ kg/m}^3 \quad (\text{I-13})$$

gdzie

P - ciśnienie w kanale Pa

T - temperatura w kanale K

Ciśnienie w kanale jest w programie obliczane na podstawie sondowań rurką Prandtla lub może być bezpośrednio wpisywane w hPa.

W przypadku sondowania rurką Prandtla jest obliczane średnie pod (nad) ciśnienie statyczne wg. wzoru:

$$P_s = \rho_p \cdot \frac{9,81}{1000} \sum_{i=1}^{i=n} 1_s Y_s, \text{ hPa}$$

gdzie:

ρ_p - gęstość płynu mikromanometrycznego g/cm^3

- l_s - odczyt mikromanometru mm
 Y_s - przekładnia mikromanometru
 n - ilość odczytów mikromanometru

Przykład obliczeń

Przekładnia = 1

Odczyty -120,-110,-115,-120,-125,-130 $n=6$

gęstość płynu 0,8 g/cm³

Temperatura w kanale 500 K

$$\Sigma l_s Y_s = -720 \quad P_s = 0,8 \cdot 9,81 \cdot (-720)/6 /100 = -9,4176 \text{ hPa}$$

$$P = P_b + P_s = 1005 - 9,4176 = 995,5824 \text{ hPa lub } 99558,24 \text{ Pa}$$

Gęstość w warunkach rzeczywistych:

$$\rho = 1,26393455 \cdot 0,002694965 \cdot 99558,24 / 500 = \mathbf{0,6782425 \text{ kg/m}^3}$$

3. Obliczenie natężenia przepływu gazu w przewodzie (obliczanie głównego strumienia gazu)

Strumień objętości gazu w warunkach panujących w przewodzie oblicza się wg. wzoru

$$\dot{V} = 3600 A w \quad ,m^3$$

gdzie :

A - powierzchnia przekroju kanału , m²

w - średnia prędkość w kanale ,m/s

Średnią prędkość w kanale można obliczyć wg. wzoru:

$$w = k \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad ,m/s \quad (34)$$

gdzie:

k - współczynnik kształtu, dla rurek wykonanych zgodnie z normą

PN-81/M-42364 ($\beta=1$) równy $(2/1) = 1,414213562$

Δp - ciśnienie spiętrzenia, ciśnienie dynamiczne obliczone wg.

wzoru:

$$\Delta P = \left(\frac{\sum_{i=1}^{i=n} \sqrt{\Delta P_{vi}}}{n} \right)^2$$

gdzie :

ΔP_{vi} - poszczególne odczyty spiętrzenia , Pa

n - ilość odczytów spiętrzenia

Ciśnienie spiętrzenia (ciśnienie dynamiczne) oblicza się w przypadku zastosowania rurki Prandtla i mikromanometru wg. wzoru:

$$\Delta P = g \rho_{cm} c \Delta l \quad (J-9)$$

gdzie:

g - przyspieszenie ziemskie 9,81 m/s²

ρ_{cm} - gęstość cieczy manometrycznej , g/cm³

c - przekładnia mikromanometru

Δl - różnica długości słupa cieczy w mikromanometrze , mm

Przykład obliczeń:

Gęstość płynu w mikromanometrze = $0,8 \text{ g/cm}^3$

Przekładnia mikromanometru = $1/5$

Powierzchnia przekroju kanału = 1 m^2

Parametr	1	2	3	4	5	6
Spiętrzenie mm	20	30	40	50	40	30
ΔP_i , hPa	31,392	47,088	62,784	78,48	62,784	47,088
$\sqrt{\Delta P_i}$	5,602856	6,862070	7,923636	8,858894	7,923636	6,862070

$$\Sigma \sqrt{\Delta P_i} = 44,033162$$

$$\Delta P = (44,033162/6)^2 = 53,85887 \text{ Pa}$$

$$w = 1,414213562 \sqrt{53,85887 / 0,6782425} = 12,602338 \text{ m/s}$$

$$\dot{V} = 3600 * 12,602338 * 1 = 45368,42 \text{ m}^3/\text{s}$$

Natężenie przepływu w warunkach umownych

$$\dot{V}_u = \dot{V} \cdot \frac{\rho}{\rho_u}, \text{ m}^3/\text{h} \quad (28)$$

Natężenie przepływu w warunkach umownych:

$$V_u = 45368,424154 \cdot 0,6782425 / 1,263934551 = 24345,24 \text{ m}^3/\text{h}$$

3.1. Natężenie przepływu gazu suchego

Natężenie gazu suchego w warunkach umownych można obliczyć wg. wzoru:

$$V_{su} = V_{wu} \cdot \frac{\rho_{wu}}{\rho_{su} \cdot (1 + X)}$$

gdzie:

V_{wu} - natężenie przepływu gazów w warunkach normalnych gazów wilgotnych
 V_{su} - natężenie przepływu gazów suchych w warunkach umownych

ρ_{wu} - gęstość gazu wilgotnego

ρ_{su} - gęstość gazu suchego

X - zawartość wilgoci w gazie kg/kg gazu suchego

Przykład obliczeń:

$$V_{wu} = 24345,24 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho_{wu} = 1,26393455 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{su} = 1,325097044 \text{ kg/m}^3$$

$$X = 0,0806942 \text{ kg/kg}$$

$$V_{su} = 21487,61 \text{ m}^3/\text{h}$$

4. Obliczenie stężenia i emisji pyłu

Stężenie pyłu S_v w częściowym strumieniu gazu oblicza się wg. wzoru:

$$S_v = 3600 \cdot \frac{m_o}{V_v \cdot \Delta_t}, \text{ g/m}^3 \quad (25)$$

gdzie:

m_o - masa wytrąconego pyłu, g

V_v - Częściowy strumień gazu m^3/h

Δ_t - czas pobierania częściowego strumienia gazu, s

4.1. Pomiar przy użyciu zwężki

Obliczenie stężenia pyłu składa się z następujących etapów:

4.1.1. Obliczenie ciśnienia różnicowego na zwężce pomiarowej

Ciśnienie różnicowe obliczane jest wg. wzoru (24)

$$\Delta P_v = \left(\frac{\sum_{i=1}^{i=2} \sqrt{\Delta P_{vi}}}{n} \right)^2$$

gdzie ΔP_{vi} - poszczególne odczyty ciśnień różnicowych, Pa
 n - ilość odczytów.

W rzeczywistości nie jest bezpośrednio odczytywane ciśnienie w Pa tylko różnica słupa cieczy - zwykle wody.

W takim przypadku poszczególne ciśnienia różnicowe można obliczyć wg. wzoru:

$$\Delta P_{vi} = l \cdot \rho_c \cdot g, \text{ Pa}$$

gdzie: l - różnica wysokości słupa płynu, mm

ρ_c - gęstość płynu w U-rurce, g/cm^3

g - przyspieszenie ziemskie $9,81 \text{ m/s}^2$

Przykład obliczeń:

Odczyty różnicy ciśnień : 22; 33; 44 mm

Gęstość płynu : 1 g/cm^3

Odczyty, mm	22	33	28	średnia
$\Delta P_{vi}, \text{ Pa}$	215,82	323,73	274,68	
$\sqrt{P_{vi}}$	14,69081346	17,9924984	16,5734728	16,41892822

$$\Delta P = (16,41892822)^2 = 269,5812039 \text{ Pa}$$

4.1.2. Obliczenie gęstości gazu w warunkach zwężki

Gęstość gazu obliczono na podstawie gęstości gazu wilgotnego w kanale w warunkach normalnych i średnich parametrów pracy zwężki - ciśnienia i temperatury.

Zastosowano następujący wzór:

$$\rho_v = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \rho_{gw} \cdot \frac{273 \cdot (Pb - P_{s_i})}{(273 + t_i) \cdot 101300}}{n}$$

gdzie :

ρ_{gw} - gęstość gazu wilgotnego w kanale w warunkach normalnych

Pb - ciśnienie barometryczne , hPa

P_{s_i} - podciśnienie na kryzie obliczane jako $l \cdot \rho_c \cdot g$, Pa

t_i - temperatura na kryzie, °C

Przykład obliczeń:

Ciśnienie barometryczne - 1005 hPa

Gęstość gazu wilgotnego w. war. norm. 1,26393455 kg/m³

	1	2	3	średnio
Temperatura kryzy °C	33	38	42	37,67
Podciśnienie na kryzie, mmH ₂ O	45	44	46	
Podciśnienie na kryzie, Pa	441,45	431,64	451,26	441,45
ρ , kg/m ³	1,1138086	1,0960092	1,08187941	1,0972324

4.1.3. Obliczenie stężenia pyłu w warunkach zwężki

Strumień objętości gazu oblicza się wg. wzoru (28)

$$\dot{V}_v = 3600 \cdot K_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_v}{\rho_v}}, m^3 / h \quad (21)$$

gdzie: V_v - natężenie przepływu przez zwężkę w m³/h

K_v - stała zwężki obliczana wg. wzoru (10) lub (29)

(program uwzględnia wzór 29 do obliczenia K_v)

ρ_v - gęstość gazu w zwężce , kg/m³

Przykład obliczeń:

$$K_v = 1,111 \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot d_v^2 \quad (11)$$

$$K_v = 1,111 * 1 * 1 * 0,01^2 = 0,000111$$

$$V_v = 3600 * 0,000111 * \sqrt{(269,58120389/1,097233)} = 6,26355614 \text{ m}^3/\text{h}$$

Stężenie pyłu oblicza się wg. wzoru:

$$S_v = 3600 \frac{m_o}{V_v \Delta t}, \quad \text{g/m}^3 \quad (25)$$

gdzie: m_o - masa wytrąconego pyłu , g

V_v - Częściowy strumień gazu m^3/h

Δt - czas pobierania częściowego strumienia gazu, s

Przykład obliczeń:

Ilość wytrąconego pyłu - 0,555 g

Czas zasysania 200 s

$$S_v = 3600 * 0,555 / (6,26355614 * 200) = \mathbf{1594,9406 \text{ mg/m}^3}$$

4.1.4. Obliczenie stężenia pyłu w warunkach umownych

Stężenie pyłu w warunkach umownych obliczono wg. wzoru:

$$S_{vu} = S_v * \rho_{gw} / \rho_v$$

gdzie :

ρ_{gw} - gęstość gazu wilgotnego w warunkach normalnych, kg/m^3

ρ_v - gęstość gazu w warunkach kryzy , kg/m^3

Przykład obliczeń:

$$S_{vu} = 1594,94 * 1,26393 / 1,09723 = \mathbf{1837,2594 \text{ mg/m}^3}$$

4.2. Obliczanie stężenia pyłu przy pomiarze z użyciem gazomierza

Poniżej przedstawiono przykład obliczeń dla gazomierza.

Wzór na strumień gazu w gazomierzu

$$\dot{V}_v = 3600 \cdot K_g \cdot \frac{\Delta V_g \cdot \rho_g}{\Delta \tau \cdot \rho_v}, \text{ m}^3/\text{h} \quad (22)$$

gdzie ΔV_g - różnica wskazań gazomierza m^3

K_g - stała gazomierza na podstawie wzorcowania

$\Delta \tau$ - czas pobierania częściowego strumienia gazu

ρ_g - gęstość gazu, dla której wzorcowano gazomierz

ρ_v - gęstość gazu w przepływomierzu

Podstawiając do wzoru na stężenie wzór na strumień gazu w gazomierzu można uzyskać (po uproszczeniu 3600 i Δt) oraz założeniu, że różnica wskazań gazomierza uwzględnia już stałą wzorcowania i różnicę gęstości otrzymano następujący wzór: następujący wzór:

$$S_v = m_o/V_g, \text{ g/m}^3$$

Przykład obliczeń:

Masa zebranego pyłu 24,555 - 23,333 = 1,222 g

Różnica wskazań gazomierza (z uwzględnieniem wzorcowania)

24,555 - 23,556 = 1,056 m^3

$$S_v = 1,222/1,0556 = 1,15719697 \text{ g/m}^3$$

4.2.1 Stężenie pyłu w warunkach umownych:

$$S_u = S_v \cdot \rho_u / \rho_g$$

gdzie : ρ_g - gęstość gazu w gazomierzu

Gęstość gazu w gazomierzu

$$\rho_g = \rho_o \frac{273}{273 + t_g} \frac{P_b - 133,327 \cdot P_g}{101300}, \text{ kg/m}^3$$

gdzie:

t_g - temperatura gazomierza $^{\circ}\text{C}$

p_g - podciśnienie w gazomierzu mmHg

133,32729 = 9,80665 * 13,5956 - przelicznik mmHg na Pa

Przykład:

Temperatura gazomierza = 30 °C

Podciśnienie w gazomierzu = 40 mmHg

$$\rho_g = 1,2637 \cdot \frac{273}{303} \cdot \frac{100500 - 40 \cdot 133,327}{101300} = 1,06984564 \text{ kg/m}^3$$

Stężenie pyłu w warunkach umownych=

$$S_u = 1,15719697 * 1,263934551/1,06984564 = \mathbf{1367,133 \text{ mg/m}^3}$$

Stężenie pyłu w gazie suchym jest obliczane po przekształceniu wzoru (Ochrona Powietrza 2/99 str. 40 wzór nr 34) następująco:

$$S_{su} = S_u * \frac{\rho_{su}}{\rho_u} (1 + X)$$

$$S_{su} = 1367,133 * 1,325097/1,26393455 * (1 + 0,0806942)$$

$$S_{su} = 1548,94747$$

Stężenie pyłu w warunkach rzeczywistych:

$$S = 273/101300 \cdot S_u \cdot P/T$$

$$S = \mathbf{733,619998 \text{ mg/m}^3}$$

4.2.2. Emisja pyłu

Emisja pyłu jest obliczana wg wzoru:

$$E_p = S_u V_u$$

$$E_p = 1,367133 * \mathbf{24345,24} = 33283,181 \text{ g/h lub } \mathbf{33,28318 \text{ kg/h}}$$

5. Obliczanie stężenia i emisji zanieczyszczeń gazowych na podstawie automatycznych pomiarów stężeń

W przypadku pomiarów automatycznych stężeń gazów wyniki podawane są zwykle w przeliczeniu na gaz suchy. W celu obliczenia stężenia w gazie wilgotnym stosuje się następujący wzór

$$S_{wu} = S_{su} \cdot \frac{\rho_{wu}}{\rho_{su} \cdot (1 + X)}$$

gdzie:

S_{wu} - stężenie w warunkach normalnych w gazie wilgotnym (rzeczywiście emitowanym)

S_{su} - stężenie w warunkach umownych w gazie osuszonym

ρ_{wu} - gęstość gazu wilgotnego

ρ_{su} - gęstość gazu suchego

X - zawartość wilgoci w gazie kg/kg gazu suchego

Przykład obliczeń:

Stężenie tlenków azotu wynosi 100 mg/m³ w warunkach umownych w gazie suchym

$$\rho_{wu} = 1,26393455 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{su} = 1,325097044 \text{ kg/m}^3$$

$$X = 0,0806942 \text{ kg/kg}$$

Stężenie tlenków azotu w gazie wilgotnym w warunkach normalnych:

$$S_{wu} = 88,262 \text{ mg/m}^3$$

Emisję można obliczyć jako iloczyn stężenia gazu w gazie wilgotnym w warunkach normalnych i natężenia gazu wilgotnego w warunkach normalnych lub jako iloczyn stężenia w gazie suchym i natężenia gazu suchego w warunkach umownych

I metoda:

$$\text{Emisja} = S_{wu} V_{wu} = 88,262 * 24345,24 / 1000 / 1000 = 2,14876 \text{ kg/h}$$

II metoda

$$\text{Emisja} = S_{su} V_{su} = 100 * 21487,61 / 1000 / 1000 = 2,14876 \text{ kg/h}$$

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	1
2. OBLICZANIE GĘSTOŚCI.....	2
2.1. GĘSTOŚĆ GAZU SUCHEGO	2
2.2. OBLICZENIE WILGOTNOŚCI GAZU	3
2.3. OBLICZENIE GĘSTOŚCI GAZU WILGOTNEGO.....	6
3. OBLICZENIE NATĘŻENIA PRZEPIYWU GAZU W PRZEWODZIE	9
3.1. NATĘŻENIE PRZEPIYWU GAZU SUCHEGO	11
4. OBLICZENIE STĘŻENIA I EMISJI PYŁU.....	11
4.1. POMIAR PRZY UŻYCIU ZWĘŻKI	11
4.1.1. Obliczenie ciśnienia różnicowego na zwężce pomiarowej	12
4.1.2. Obliczenie gęstości gazu w warunkach zwężki	13
4.1.3. Obliczenie stężenia pyłu w warunkach zwężki.....	13
4.1.4. Obliczenie stężenia pyłu w warunkach umownych.....	14
4.2. OBLICZANIE STĘŻENIA PYŁU PRZY POMIARZE Z UŻYCIEM GAZOMIERZA	15
4.2.1 Stężenie pyłu w warunkach umownych:	15
4.2.2. Emisja pyłu.....	16
5. OBLICZANIE STĘŻENIA I EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ GAZOWYCH NA PODSTAWIE AUTOMATYCZNYCH POMIARÓW STĘŻEŃ.....	17