

# Znaczniki gazowe w ocenie emisji zanieczyszczeń przenoszonych powietrzem

W artykule przedstawiono założenia metody oceny emisji substancji przenoszonych powietrzem z maszyn zgodnie z zaleceniami PN-EN 1093-2. W normie tej określono sposoby postępowania podczas wyznaczania wielkości emisji zanieczyszczeń z maszyny, w określonych warunkach pracy maszyny, z zastosowaniem metody znaczników gazowych. Zasadą metody pomiarów jest generowanie znacznika gazowego ze znanym i stałym strumieniem, symulującym aerodynamiczne zachowanie się rzeczywistego zanieczyszczenia, a następnie prowadzenie pomiarów stężenia znacznika gazowego i rzeczywistego zanieczyszczenia w otoczeniu źródła emisji.

## Tracer gas techniques in evaluating emission of airborne pollutants

This article presents a method of determining emission of airborne pollutants by machines. It complies with Standard No. PN-EN 1093-2. This standard describes a method of measuring emission rates of airborne pollutants from a single machine, whose operation can be controlled, using tracer gas techniques. The principle is based on the use of a tracer gas generated at a known and constant emission rate to provide the best representation of the pollutant source. Mean tracer gas and pollutant concentrations are measured in the vicinity of the source.

## Wstęp

Zgodnie z dyrektywą maszynową 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, która zastąpi dyrektywę 98/37/WE, jednym z wymagań zasadniczych dotyczących bezpieczeństwa pracy i ochrony zdrowia jest zapobieganie zagrożeniom zanieczyszczeniami pyłowymi emitowanymi przez maszyny podczas realizacji procesów technologicznych. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego, w Polsce w 2007 roku liczba osób zatrudnionych w warunkach zagrożenia pyłami przemysłowymi wynosiła 90,3 tys. osób, w tym pyłami zwiókniającymi – ok. 51,7 tys. osób. W warunkach zagrożenia pyłami rakotwórczymi było zatrudnionych ok. 5,2 tys. osób [1].

Wszędzie tam, gdzie są emitowane pyły, zaleca się całkowite lub częściowe obudowywanie źródła emisji zanieczyszczeń, a jeżeli nie jest to możliwe, stosowane są odciągi miejscowe połączone z instalacją odpylającą bądź urządzeniem filtrowentylacyjnym. Zadaniem odciągu miejscowego jest wychwytywanie zanieczyszczeń pyłowych bezpośrednio przy źródle emisji i zapobieganie ich rozprzestrzenianiu się w pomieszczeniu pracy. Rodzaj zastosowanego odciągu miejscowego zależy zarówno od umiejscowienia źródła emisji, jak również od kierunku i prędkości rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń pyłowych. Niedogodnością związaną ze stosowaniem odciągów miejscowych jest konieczność umieszczania ich bezpośrednio w rejonie źródeł emisji pyłów. Wynika to z faktu, że elementy wychwytyjące zanieczyszczenia pyłowe – np. ssawki – działają skutecznie w małym obszarze. W pomieszczeniach, gdzie emitowane są zanieczyszczenia pyłowe, wentylacja mechaniczna miejscowa powinna być wspomagana działaniem wentylacji mechanicznej ogólnej.

O potrzebie usystematyzowania wiedzy dotyczącej badania emisji pyłów z maszyn świadczą prace Komitetu Technicznego TC 114 Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego. Metody badania i oceny emisji substancji niebezpiecznych z maszyn zostały znormalizowane

i określone w normach serii PN-EN 1093. Normy te, w zależności od celu badań, zalecają stosowanie różnych metod badania, co w konsekwencji wymaga uwzględniania parametrów oceny, otoczenia badań oraz rodzaju aerozoli symulujących rzeczywiste zanieczyszczenie [2].

W zależności od rodzaju wymaganej informacji dotyczącej emisji zanieczyszczeń przenoszonych powietrzem można określać natężenie emisji zanieczyszczeń z maszyny, stężenia zanieczyszczeń w pomieszczeniach pracy, skuteczność wychwyty zanieczyszczeń przez odciąg miejscowy, skuteczność oczyszczenia i wskaźnik oczyszczenia przez system do ograniczenia zanieczyszczenia.

Badania można prowadzić w warunkach laboratoryjnych (w komorze testowej lub w całym pomieszczeniu laboratorium) i w warunkach rzeczywistych (w pomieszczeniach przemysłowych na stanowiskach pracy).

Do symulowania emisji pyłów z maszyn może być stosowany pył testowy lub znacznik gazowy o parametrach aerodynamicznych zbliżonych do parametrów rzeczywistego zanieczyszczenia – obecnie w Polsce i na świecie stosuje się znaczniki gazowe. Mimo że stosowanie pyłu testowego lepiej odzwierciedla rzeczywistą sytuację, występującą w przypadku emisji zanieczyszczeń, to badania bazujące na znacznikach gazowych umożliwiają wykonywanie pomiarów z większą dokładnością, gdyż znaczniki te z reguły nie występują jako rzeczywiste zanieczyszczenie powietrza, co może mieć miejsce w przypadku pyłów testowych.

## Znormalizowane metody badania emisji zanieczyszczeń przenoszonych powietrzem

Prowadzone w kraju i na świecie badania naukowe dotyczące zanieczyszczeń przenoszonych powietrzem wynikają z potrzeb uzyskania danych charakteryzujących skuteczność koniecznych środków ochronnych stosowanych w maszynach stanowiących źródło emisji pyłów. Dla każdego rodzaju maszyn emitujących zanieczyszczenia

są prowadzone oddzielne prace doświadczalne, mierzące do skutecznego wyeliminowania zagrożenia emisją szkodliwych pyłów.

Procesem normalizacji dotyczącym oceny emisji zanieczyszczeń z maszyn zajmuje się Grupa Robocza nr 15 Komitetu Technicznego TC 114 ds. Bezpieczeństwa Maszyn Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego. W tabeli 1. (str. 16.) zamieszczono wykaz metod badań parametrów związanych z emisją zanieczyszczeń z maszyn oraz skutecznością działania systemów wychwytywania.

Badania emisji zanieczyszczeń podczas różnych procesów realizowanych przez maszyny zgodnie z EN 1093-2 i EN 1093-3 oraz skuteczności działania urządzeń wentylacji miejscowej wywiewnej zgodnie z EN 1093-4, w zależności od metody badania, parametrów oceny i rodzaju substancji stosowanej w badaniach (tabela 1.) oraz zastosowanej aparatury badawczej (tabela 2., str. 16.) są prowadzone przede wszystkim w następujących europejskich ośrodkach naukowych:

- BG Institute for Occupational Safety and Health (BGIA) w Niemczech [3]
- National Research and Safety Institute for the Prevention of Occupational Accidents and Diseases (INRS) we Francji [4]
- Health and Safety Laboratory (HSL) w Wielkiej Brytanii [5]
- Finish Institute of Occupational Health (FIOH) w Finlandii [6].

Badania emisji pyłów drewna z ręcznych zmechanizowanych narzędzi, metodą badania stanowiskowego z użyciem rzeczywistych zanieczyszczeń, zgodnie z PN-EN 1093-3:2007 [7] były prowadzone również w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym [8].

W związku z opublikowaniem PN-EN 1093-2:2007 [9] zaistniała potrzeba rozszerzenia zakresu badań prowadzonych w CIOP-PIB na emisję zanieczyszczeń przenoszonych powietrzem, zgodnie z metodą badania stanowiskowego z użyciem znaczników gazowych. Badania z zakresu oceny emisji zanieczyszczeń z maszyn stosowanych do obróbki ubytkowej, zgodnie z PN-EN 1093-2:2007 [9], są obecnie prowadzone w CIOP-PIB, w ramach programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”.

### Założenia metody badania emisji zanieczyszczeń przenoszonych powietrzem z użyciem znaczników gazowych w komorze testowej

Metoda badania parametrów charakteryzujących zagrożenia pyłami emitowanymi z maszyny w warunkach laboratoryjnych polega na uruchomieniu wewnątrz komory testowej badanego obiektu (maszyna z lub bez systemu wychwytywania powietrza), a następnie na określeniu stężenia rzeczywistego zanieczyszczenia

i znacznika gazowego w określonych miejscach, przy ściśle określonym strumieniu objętości powietrza odprowadzanego z komory testowej.

Komorę testową została zaprojektowana i wykonana zgodnie z PN-EN 1093-3:2007 [7], z przeznaczeniem do oceny emisji zanieczyszczeń z maszyn zwłaszcza trzymanych i prowadzonych ręcznie [8], np. dla potrzeb oceny ich zgodności z wymaganiami zasadniczymi oraz prowadzenia prac badawczych ukierunkowanych na wyeliminowanie lub zmniejszenie zagrożenia emisją pyłów przez określanie parametrów niezbędnych do oceny zagrożenia emisją zanieczyszczeń z maszyn oraz parametrów potrzebnych do oceny działania systemów wychwytywania, również z użyciem znaczników gazowych.

W metodzie oceny zagrożenia zanieczyszczeniami istotne jest określanie parametrów charakterystycznych dla różnych stanów pracy maszyn i systemów wychwytywania zanieczyszczeń. Wskaźnikiem charakteryzującym emisję zanieczyszczeń z maszyny jest poziom stężenia zanieczyszczeń w otoczeniu źródła emisji. Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń określone rozkładem stężenia emitowanego zanieczyszczenia, zależy od charakterystyki przepływów powietrza związanych z działaniem maszyny stanowiącej źródło emisji i systemu wychwytywanego współpracującego z maszyną.

Ocena zagrożenia związanego z emisją zanieczyszczeń pyłowych wymaga przeprowadzenia badań w warunkach laboratoryjnych w celu:

- oceny maszyny z nowo zaprojektowanym systemem wychwytywania
- zwiększenia efektywności systemu wychwytywania współdziałającego z maszyną.

Badania obejmują określenie emisji zanieczyszczeń z maszyny przy włączonym i wyłączonym systemie wychwytywania.

### Parametry charakteryzujące zagrożenie emisją zanieczyszczeń przenoszonych powietrzem

Podstawowe parametry charakteryzujące zagrożenie emisją zanieczyszczeń przenoszonych powietrzem to:

- rozkład prędkości przepływu powietrza w otoczeniu maszyny
- strumień objętości powietrza w przewodzie systemu wychwytywania –  $Q$
- masowe natężenie emisji znacznika gazowego z maszyny przy włączonym i wyłączonym systemie wychwytywania zanieczyszczeń pyłowych –  $(q_{w,t})_m$  i  $(q_{w,t})_m$
- masowe natężenie emisji rzeczywistego zanieczyszczenia z maszyny przy włączonym i wyłączonym systemie wychwytywania zanieczyszczeń pyłowych –  $(q_{w,p})_m$  i  $(q_{w,p})_m$ .

Zakres badań obejmuje wykonanie pomiarów:

- lokalnej, uśrednionej w czasie, prędkości powietrza w siatce pomiarowej, w zależności od charakterystyki przepływowej w komorze, związanej z pracą maszyny i systemu wychwytywanego

go, przy włączonej maszynie wraz z systemem wychwytywania –  $V_{o,w,t,i}$  i  $V_{o,w,t,i}$

- lokalnej, uśrednionej w czasie, prędkości powietrza w przekroju poprzecznym przewodu systemu wychwytywania –  $V_{p,i}$
- strumienia objętości znacznika gazowego w miejscu emisji z maszyny  $(q_i)_v$
- stężenia rzeczywistego zanieczyszczenia w charakterystycznych punktach pomiarowych w otoczeniu maszyny w komorze, przy włączonym  $(C_{w,t,i})_m$  i wyłączonym systemie wychwytywania zanieczyszczeń  $(C_{w,t,i})_m$
- stężenia znacznika gazowego w charakterystycznych punktach pomiarowych w otoczeniu obiektu badań w komorze testowej, przy włączonym  $(C_{w,t,i})_m$  i wyłączonym systemie wychwytywania zanieczyszczeń  $(C_{w,t,i})_m$ .

### Metody badań

Parametry charakteryzujące zagrożenie emisją zanieczyszczeń przenoszonych powietrzem określa się z wykorzystaniem dwóch metod:

- metody anemometrycznej w celu określenia:
  - strumienia objętości powietrza odprowadzanego przewodem systemu wychwytywania
  - charakterystyki przepływowej w otoczeniu maszyny
- metody znaczników gazowych umożliwiającą jednoczesny pomiar:
  - masowego stężenia rzeczywistego zanieczyszczenia
  - masowego stężenia znaczników gazowych.

W CIOP-PIB pomiary prędkości przepływu powietrza prowadzi się z użyciem anemometrów VelociCalc Model 8360 (TSI Inc., USA) i zestawu pomiarowego VIVO (Dantec Dynamics, Dania).

Z kolei w metodzie znacznikowej stosuje się miernik pyłu DustTrak Model 8520 (TSI, USA) i przenośny analizator znaczników gazowych MIRAN SaphiRe Model 100E (Thermo/Foxboro, USA).

Metoda anemometryczna polega na pomiarze lokalnej, uśrednionej w czasie, prędkości powietrza:

- w przekroju poprzecznym przewodu systemu wychwytywania zanieczyszczeń
- w przestrzennej siatce pomiarowej w zależności od charakterystyki przepływowej w komorze związanej z pracą maszyny i systemu wychwytywania.

Wyznaczenie prędkości przepływu powietrza w wyżej wymienionych obszarach umożliwiła określenie:

- strumienia objętości zasysanego powietrza, który jest istotnym parametrem charakteryzującym system wychwytywania zanieczyszczeń
- wpływu parametrów pracy maszyny i systemu wychwytywania na rozkład prędkości powietrza w otoczeniu obiektu badań
- wpływu zmian prędkości powietrza na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w strefie pracy operatorów maszyn.

Strumień objętości powietrza w przewodzie systemu wychwytywania zanieczyszczeń określa się zgodnie z metodami ujętymi w PN-EN

12599:2002/AC:2004 [10] i oblicza na podstawie średniej prędkości powietrza w przewodzie, określanej jako wartość średnia arytmetyczna z wyników pomiarów prędkości powietrza w wybranych punktach przekroju poprzecznego przewodu. W zależności od kształtu przekroju przewodu (np. kołowy lub prostokątny) i jego wymiarów przyjmuje się różną liczbę punktów pomiarowych.

Strumień objętości powietrza przepływającego przez przewód systemu wychwytywania (Q) oblicza się zgodnie z wzorem:

$$Q = 3600 \cdot F \cdot V_{p,śr}$$

gdzie:

–  $V_{p,śr}$  – średnia prędkość powietrza w przekroju poprzecznym przewodu [m/s]

– F – powierzchnia przekroju poprzecznego przewodu [m<sup>2</sup>].

Punkty pomiarowe w przestrzennej siatce są zlokalizowane w pionowych i poziomych płaszczyznach na wysokości głowy, w środku wysokości człowieka i na wysokości stóp, co odpowiada:

– wysokości 1,7 m; 1,1 m i 0,1 m w przypadku osoby stojącej

– wysokości 1,1 m; 0,6 m i 0,1 m w przypadku osoby siedzącej.

Liczbę i lokalizację punktów pomiarowych w komorze testowej przedstawiono na rysunku 1.

W celu uniknięcia zakłóceń w ruchu powietrza sondy pomiarowe umieszcza się na statywach za pomocą uchwytów. Sondy w punktach pomiarowych można ustawiać w dowolnych

położeniach w płaszczyźnie pionowej, w zakresie kąta pochylenia od 0° do 90°.

Metoda znaczników gazowych polega na rozpoczęciu pracy maszyny i jednocześnie wprowadzaniu znacznika ze stałą prędkością w wybranym punkcie emisji rzeczywistego zanieczyszczenia, a następnie na określaniu stężenia rzeczywistego zanieczyszczenia i znacznika gazowego w określonych punktach, rozmieszczonych w komorze. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w otoczeniu obiektu badań ilustruje rysunek 2. Punkty pomiarowe prędkości powietrza są zlokalizowane w pionowych i poziomych płaszczyznach na trzech wysokościach, natomiast cztery punkty pomiarowe stężenia znajdują się w otoczeniu maszyny (zgodnie z postanowieniami normy PN-EN 1093-2:2007 [9]).

Strumień objętości dozowanego znacznika gazowego jest regulowany z użyciem zestawu przepływomierzy. W źródle emisji rzeczywistych zanieczyszczeń jest umieszczana sonda do dozowania znacznika gazowego. Kształt źródła emisji znacznika powinien być podobny do kształtu rzeczywistego źródła emisji zanieczyszczeń. Zwykle stosuje się:

- źródła punktowe, które mogą być symulowane za pomocą otwartych rur wytwarzających strumienie o zmiennych charakterystykach aerodynamicznych lub z użyciem materiałów spiekanych rozpraszających znacznik przy małej wartości prędkości początkowej (np. brąz spiekany o wymiarach 20 mm x 20 mm x 20 mm)

- źródła płaszczyznowe i objętościowe, które mogą być symulowane przy użyciu układu źródeł punktowych lub rur perforowanych, odpowiednio rozmieszczonych.

Kierunek i strumień objętości wypływu znacznika z sondy powinien być zgodny z kierunkiem i strumieniem objętości rzeczywistych zanieczyszczeń.

Zgodnie z PN-EN 1093-2:2007 [9] i PN-EN 1093-4:2002 [11] przy wyborze znaczników gazowych powinny być brane pod uwagę następujące kryteria:

- zerowa lub niska toksyczność
- trwałość chemiczna znacznika w temperaturze prowadzenia badań
- brak wzajemnego oddziaływania z zanieczyszczeniami obecnymi w badanym pomieszczeniu
- niski poziom tła w pomieszczeniu
- warunki emisji znacznika zbliżone do warunków rzeczywistych.

Rodzaje znaczników gazowych, aparatury pomiarowej, ograniczeń pomiaru, dopuszczalnych stężeń i ciężaru właściwego znaczników gazowych podano w tabeli 2.

Zgodnie z PN-EN 1093-2:2007 [9], wskaźnikiem emisji zanieczyszczeń przenoszonych powietrzem jest masowe natężenie emisji rzeczywistego zanieczyszczenia z maszyny i masowe natężenie emisji znacznika gazowego z sondy maszyny określone przy włączonym i wyłączonym systemie wychwytywania zanieczyszczeń. Pomiar masowego stężenia rzeczywistego zanieczyszczenia i znacznika gazowego w wybranych

Tabela 1

**METODY BADANIA EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ Z MASZYN I SKUTECZNOŚCI DZIAŁANIA SYSTEMÓW WYCHWYTYWANIA ZGODNIE Z PN-EN 1093-1:2001 [2]**

List of methods for determining emission of airborne pollutants by machines and efficiency of local exhaust ventilation in accordance with PN-EN 1093-1:2001 [2]

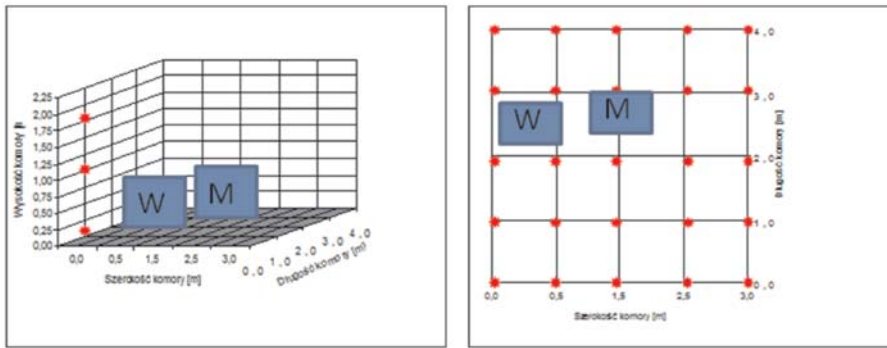
Parametry oceny		Rodzaj substancji stosowanej w badaniach	Metoda badania stanowiskowego	Metoda badania w pomieszczeniu	Metoda badania terenowego
Emisja	natężenie emisji	znacznik i zanieczyszczenie	PN-EN 1093-2:2007		
	natężenie emisji	zanieczyszczenie	PN-EN 1093-3:2007	–	–
	stężenie zanieczyszczeń	zanieczyszczenie	PN-EN 1093-8:2002	PN-EN 1093-9:2002	–
Wychwytywanie	skuteczność wychwytywania	znacznik	PN-EN 1093-4:2002		
	skuteczność wychwytywania	zanieczyszczenie	–	–	–
	wskaźnik oczyszczenia	zanieczyszczenie	–	PN-EN 1093-11:2005	
Oczyszczanie	skuteczność oczyszczenia	zanieczyszczenie	PN-EN 1093-6:2005	PN-EN 1093-7:2005	–

Tabela 2

**WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE ZNACZNIKÓW GAZOWYCH POWSZECHNIE STOSOWANYCH W BADANIACH [12]**

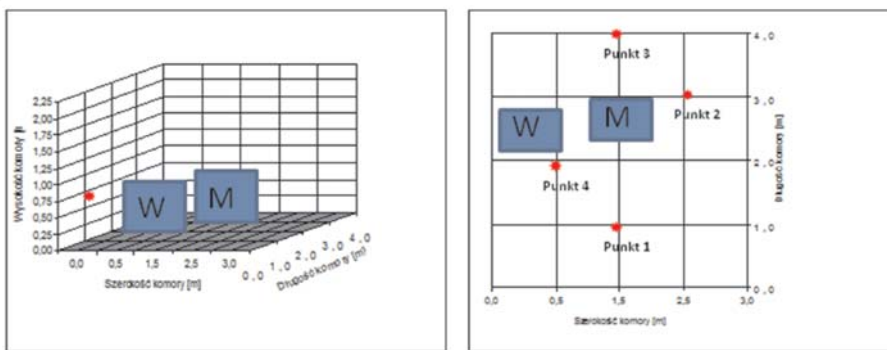
Physico-chemical properties of tracer gases commonly used in testing ventilation systems [12]

Typ gazu	Hel	Ditlenek węgla		Heksafluorek siarki	Tlenek azotu
Symbol chemiczny	He	CO <sub>2</sub>		SF <sub>6</sub>	N <sub>2</sub> O
Aparat pomiarowy	chromatograf gazowy	analizator gazu w podczerwieni	chromatograf gazowy	chromatograf gazowy	analizator gazu w podczerwieni
Dolna granica wykrywalności	300 x 10 <sup>-6</sup>	1 x 10 <sup>-6</sup>	70 x 10 <sup>-6</sup>	0,001 x 10 <sup>-6</sup>	1 x 10 <sup>-6</sup>
Dopuszczalne stężenie	–	300 x 10 <sup>-6</sup>		300 x 10 <sup>-6</sup>	5%
Ciężar właściwy	0,138	1,545		5,302	1,53
Uwagi	He jest najmniej aktywnym pierwiastkiem chemicznym	CO <sub>2</sub> jest rozpuszczalny w wodzie i nie jest odpowiedni do dokładnego pomiaru, ponieważ jest absorbowany przez materiały budowlane, meble itp. Jednakże CO <sub>2</sub> jest często stosowany, gdy nie są wymagane dokładne pomiary. Jeżeli w strefie pomiarowej znajduje się użytkownik pomieszczenia, wówczas pomiar nie może być przeprowadzony, ponieważ on również wytwarza CO <sub>2</sub> .		czysty SF <sub>6</sub> jest gazem bezwładnym. Jednakże generuje on toksyczny gaz, jeżeli jest podgrzany do temperatury 500 °C	N <sub>2</sub> O jest rozpuszczalny w wodzie. Jednakże generuje on tlen jeżeli jest podgrzany do temperatury 250 °C



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych prędkości przepływu powietrza w komorze testowej (M – maszyna, W – system wychwytywania)

Fig. 1. Location of measurement points of air velocity at a test stand – a chamber (M – a machine, W – local exhaust ventilation)



Rys. 2. Rozmieszczenie punktów pomiarowych stężenia rzeczywistego zanieczyszczenia i znacznika gazowego w komorze testowej (M – maszyna, W – system wychwytywania)

Fig. 2. Location of measurement points of tracer gas and pollutant concentrations at a test stand – a chamber (M – a machine, W – local exhaust ventilation)

punktach pomiarowych (od 1 do 4) w otoczeniu obiektu badań wykonuje się z użyciem miernika pyłu i przenośnego analizatora gazu.

Jednostkowe masowe natężenie emisji znacznika gazowego z maszyny z włączonym systemem wychwytywania zanieczyszczeń ( $q_{wl,T,i}$ ) [mg/s] w danym punkcie pomiarowym oblicza się z następującej zależności:

$$(q_{wl,T,i})_m = (q_{T,i})_v \cdot \frac{M_T \cdot 1000}{V_{m(t,p)} \cdot 60}$$

gdzie:

–  $(q_{T,i})_v$  – strumień objętości znacznika [l/min] dla pomiaru jednostkowego w danym punkcie pomiarowym „i”

–  $M_T$  – masa molowa znacznika gazowego [g/mol]

–  $V_{m(t,p)}$  – objętość molowa gazu w temperaturze (t) i ciśnieniu (p) podczas badania [l/mol].

Na podstawie jednostkowych wartości natężenia emisji znacznika określa się średnią wartość natężenia emisji znacznika z maszyny z włączonym systemem wychwytywania ( $q_{wl,p,i}$ )<sub>m</sub>.

Jednostkowe masowe natężenie emisji rzeczywistego zanieczyszczenia z maszyny z włączonym systemem wychwytywania zanieczyszczeń ( $q_{wl,p,i}$ )<sub>m</sub> [mg/s] oblicza się z następującej zależności:

$$(q_{wl,p,i})_m = (q_{wl,T,i})_m \cdot \frac{\sum_i (\bar{C}_{wl,p,i})_m}{n \cdot (\bar{C}_{wl,T,i})_m}$$

gdzie:

–  $(\bar{C}_{wl,p,i})_m$  – wartość średnia masowego stężenia rzeczywistego zanieczyszczenia [mg/m<sup>3</sup>]

–  $(\bar{C}_{wl,T,i})_m$  – wartość średnia masowego stężenia znacznika gazowego [mg/m<sup>3</sup>]

– n – liczba punktów pomiarowych stężenia.

Na podstawie jednostkowych wartości masowego natężenia emisji rzeczywistego zanieczyszczenia określa się średnią wartość masowego natężenia emisji zanieczyszczeń z maszyny z włączonym systemem wychwytywania ( $q_{wl,p,i}$ )<sub>m</sub>.

Omówione czynności i obliczenia powtarza się w warunkach wyłączanego systemu wychwytywania zanieczyszczeń.

### Podsumowanie

Podjęmowanie działań zmierzających do eliminowania zagrożenia pyłami u źródła ich emisji jest wymagane zgodnie z dyrektywami Unii Europejskiej 2006/42/WE, 98/24/WE i 89/655/

EWG wdrożonymi do prawa polskiego. Maszyny stwarzające zagrożenie pyłami muszą być wyposażone w odpowiednie środki ochrony zbiorowej przed zapyleniem.

Głównym celem przedstawionej metody badawczej wg PN-EN 1093-2:2007 [9] jest umożliwienie krajowym producentom maszyn spełnienia wymagań zasadniczych, dotyczących oceny maszyn i związanych z nimi systemów wychwytywania zanieczyszczeń przenoszonych powietrzem, przy zastosowaniu znaczników gazowych. Ocena ta pozwoli zarówno producentom maszyn, jak i pracownikom służb eksploatacyjnych systemów wentylacji miejscowej stosowanych w procesach obróbki, na wspomaganie projektowania nowych konstrukcji systemów wentylacji miejscowej lub usprawnianie działań zmierzających do zwiększenia skuteczności systemów współdziałających z maszynami.

### PIŚMIENICTWO

[1] Ocena stanu bezpieczeństwa i higieny pracy w 2007 roku. MPiPS, Warszawa, czerwiec 2008

[2] PN-EN 1093-1:2001 Maszyny. Bezpieczeństwo. Ocena emisji substancji niebezpiecznych przenoszonych powietrzem – Wybór metod badań

[3] Emissions of hazardous substances from machines (2002) Project Nr BIA3056

[4] D. Beamer, J.P. Muller, J. M. Dessagne Comparison of Capture Efficiencies Measured by Tracer Gas and Aerosol Tracer Techniques. "Indoor Air", Vol. 8 (1), 2004, pp. 47-60

[5] B. Fletcher, A. Johnson Ventilation of small factory units. "Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics", Vol. 40, 1992, pp. 293-305

[6] R. Niemelä, A. Lefevre Comparison of three tracer gases for determining effectiveness and capture efficiency. "The Annals of Occupational Hygiene", Vol. 35, 1991, No. 4, pp. 405-417

[7] PN-EN 1093-3:2007 Bezpieczeństwo maszyn. Ocena emisji substancji niebezpiecznych przenoszonych powietrzem. Część 3: Metoda badania stanowiskowego do pomiaru natężenia emisji danego zanieczyszczenia

[8] M. Gliński Dust emission and efficiency of local exhaust ventilation during cast iron grinding. JOSE, Vol. 8, 2002, No.1, pp. 95-105

[9] PN-EN 1093-2:2007 Bezpieczeństwo maszyn. Ocena emisji substancji niebezpiecznych przenoszonych powietrzem. Część 2: Metoda znacznikowa do pomiaru natężenia emisji danego zanieczyszczenia

[10] PN-EN 12599:2002/AC:2004 Wentylacja budynków – Procedury badań i metody pomiarowe dotyczące odbioru wykonanych instalacji wentylacji i klimatyzacji

[11] PN-EN 1093-4:2002 Maszyny. Bezpieczeństwo. Ocena emisji substancji niebezpiecznych przenoszonych powietrzem. Część 4: Skuteczność wychwytu odciągu miejscowego – Metoda znacznikowa

[12] PN-EN ISO 12569:2004 Izolacja cieplna w budynkach. Określanie wymiany powietrza w budynkach. Metoda gazu znacznikowego

Publikacja przygotowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowywanego w latach 2008-2010 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.