

dr inż. ELŻBIETA JANKOWSKA

Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy

# Badanie narażenia spawaczy na cząstki zawarte w dymach spawalniczych

## Wstęp

Spawanie jest jednym z głównych procesów wysokotemperaturowych powszechnie występującym zarówno w środowisku pracy, jak i życia. Podczas spawania do otaczającego powietrza emitowane są szkodliwe zanieczyszczenia w postaci gazów oraz cząstek, w większości drobnych i ultradrobnych, o wymiarach poniżej 1 mikrometra. Cząstki te ulegają zazwyczaj osadzeniu w pęcherzykach płucnych układu oddechowego człowieka i mogą być przyczyną wielu chorób, w tym chorób nowotworowych.

Zasady i metody pomiarowe obecnie stosowane podczas oceny narażenia zawodowego na zanieczyszczenia emitowane podczas spawania są przedstawione w normach i przepisach prawa [1-6] oraz omówione w piśmiennictwie [7]. W przypadku oceny narażenia na cząstki pyłów zalecane jest przede wszystkim wykorzystywanie metody filtracyjno-wagowej, tzn. polegającej na pobieraniu próbek pyłów na filtry pomiarowe i określaniu stężeń badanych frakcji (np. pyłu całkowitego, pyłu respirabilnego itp.) metodą wagową. Jej stosowanie nie odzwierciedla jednak rzeczywistego narażenia pracowników na cząstki emitowane podczas spawania, gdyż nie umożliwia określenia ich tak istotnych parametrów – szczególnie w odniesieniu do cząstek drobnych i ultradrobnych – jak rozkłady wymiarowe oraz stężenia liczbowe i powierzchniowe [8]. Wiedza na ten temat jest szczególnie ważna z uwagi na fakt, że szkodliwe działanie na organizm człowieka cząstek drobnych i ultradrobnych może mieć inny charakter niż działanie cząstek o większych wymiarach. Przede wszystkim dotyczy to cząstek ultradrobnych (poniżej 100 nm), które uważane są za bardzo niebezpieczne dla zdrowia człowieka, gdyż mogą przenikać do krwi i być powodem dotychczas jeszcze nierozpoznanych chorób zawodowych.

Celem badań przedstawionych w artykule było określenie stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek zawieszonych w powietrzu w spawalni, emitowanych podczas spawania stali kwasoodpornej elektrodami o symbolu OK 61.30/308L-17. Badania wykonano metodą filtracyjno-wagową i metodami optycznymi.

## Warunki i metody badań

Badania przeprowadzono w pomieszczeniu spawalni o wymiarach: długość 4,6 m, szerokość 4,4 m i wysokość 3,2 m. Pomiarów przeprowadzono:

– metodami optycznymi: na zewnątrz spawalni („tło” w powietrzu atmosferycznym) i w pomieszczeniu spawalni („tło” w spawalni)

– metodą filtracyjno-wagową i metodami optycznymi w spawalni: w strefie oddychania spawacza, podczas spawania stali kwasoodpornej elektrodami typu OK 61.30/308L-17.

Pomiary w spawalni wykonywano przy zamkniętych oknach i drzwiach spawalni, przy czym powietrze z zewnątrz mogło przedstawiać się przez nieszczelności występujące w okolicach okien i drzwi. Ogólny widok spawalni oraz procesu spawania wykonywanego podczas badań przedstawiono na fot., a szczegółowy program wykonywania badań i prowadzenia prac spawalniczych przedstawiono w tab. 1.

Badania stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek przeprowadzono z użyciem:

- próbników typu PCIS z pompkami SKC 100-3000 (stężenia frakcji  $PM_{0,25}$ ,  $PM_{0,5}$ ,  $PM_{1}$ ,  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  cząstek)
- miernika AERO-TRAK 9000, TSI (stężenia powierzchniowe cząstek o wymiarach 0,01-1  $\mu m$  frakcji A – Alveolar)
- licznika optycznego GRIMM model 1,108 (stężenia liczbowe oraz rozkłady wymiarowe cząstek z zakresów 0,4-0,5  $\mu m$ , 0,5-1  $\mu m$ , 1-3  $\mu m$  i 3-10  $\mu m$ )
- fotometru DUST TRAK, TSI model 8520 (stężenia masowe cząstek o wymiarach 0,1-10  $\mu m$ ).



W artykule przedstawiono wyniki badania stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek emitowanych do środowiska pracy podczas spawania stali kwasoodpornej elektrodami o symbolu OK 61.30/308L-17. Badania wykonane metodą filtracyjno-wagową (próbniki typu PCIS) oraz metodami optycznymi (AERO-TRAK, GRIMM, DUST-TRAK) wykazały, że podczas całego dnia pracy spawacz może być narażony na zmienne ilości cząstek z reguły o wymiarach poniżej 10  $\mu m$ , przy czym dymy spawalnicze zwykle zawierają znaczne ilości cząstek ultradrobnych i drobnych o wymiarach poniżej 1  $\mu m$ .

### Investigation of welders' exposure to particles present in welding fumes

This article presents the results of an investigation of concentrations and size distribution of particles emitted into the work environment during welding of acid-resistant steel with OK 61.30/308L-17 electrodes. Investigations carried out with gravimetric (PCIS samplers) and with optical (AERO-TRAK, GRIMM, DUST-TRAK) methods have shown that during the whole work day a welder can become exposed to various amounts of particles usually with a diameter under 10  $\mu m$ ; however, welding fumes contain considerable amounts of ultrafine and fine particles with a diameter under 1  $\mu m$ .



Fot. Ogólny widok spawalni (a) i spawania wykonywanego podczas badań (b)

Photo. General view of a welding shop (a) and welding processes during measurements (b)

Tabela 1. Program wykonywania badań i prowadzenia prac spawalniczych  
 Table 1. Program of measurements and conducting welding works

Miejsce badań	Prowadzone prace spawalnicze	Temperatura (T) i wilgotność względna powietrza (H)
„Tło” na zewnątrz spawalni – powietrze atmosferyczne 08:59-09:28		T = 21 °C H = 66%
„Tło” w spawalni 09:29-09:53		T = 24 °C H = 60%
Spawalnica – podczas prowadzenia prac spawalniczych	Spawanie stali kwasoodpornej elektrodami o symbolu OK 61.30/308L-17: 09:59 – spawanie 1 elektrodą 10:37 – spawanie 2 elektrodami 11:12 – spawanie 2 elektrodami 12:15 – spawanie 2 elektrodami 12:50 – spawanie 1 elektrodą	T = 25 °C – 27 °C H = 56% – 61%
Spawalnica – po zakończeniu spawania od 12:53		T = 27 °C H = 57% – 59%

**Wyniki badań**

Wyniki badania stężeń masowych frakcji PM<sub>0,25</sub>, PM<sub>0,5</sub>, PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub> cząstek z zastosowaniem próbników typu PCIS z pompkami SKC 100-3000 zestawiono w tab. 2., natomiast wyniki badania parametrów cząstek metodami optycznymi przedstawiono odpowiednio:

- na rys. 1. i 2. – stężenia powierzchniowe cząstek od 0,01 do 1 µm (AERO-TRAK)
- na rys. 3. i 4. – stężenia liczbowe cząstek z zakresów 0,4-0,5 µm, 0,5-1 µm, 1-3 µm i 3-10 µm (GRIMM)
- na rys. 5. i 6. – stężenia masowe cząstek od 0,1 do 10 µm (DUST-TRAK).

Z danych przedstawionych w tab. 2. wynika, że podczas spawania stali kwasoodpornej elektrodami o symbolu OK 61.30/308L-17 (zgodnie z programem przedstawionym w tabeli 1.) średnie stężenia mierzonych frakcji wymiarowych cząstek (PM<sub>0,25</sub>, PM<sub>0,5</sub>, PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub>) zawierały się w przedziale od 2,63 do 4,95 mg/m<sup>3</sup>, a średnie udziały frakcji drobniejszych (PM<sub>0,25</sub>, PM<sub>0,5</sub>, PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>) we frakcji PM<sub>10</sub> wynosiły od 53% do 64%. Podczas procesu spawania były w większości emitowane cząstki ultradrobne i drobne, o wymiarach poniżej 1 mikrometra (58%).

Dane przedstawione na rys. 1., 3. i 5. wskazują na to, że stężenia powierzchniowe cząstek o wymiarach 0,01-1 µm (pomiar AERO-TRAK) oraz stężenia liczbowe cząstek z zakresu 0,4-0,5 i 0,5-1 µm

(pomiar GRIMM) były większe na zewnątrz spawalni (w powietrzu atmosferycznym) niż w środku spawalni przed rozpoczęciem spawania. Natomiast stężenia liczbowe cząstek z zakresu 1-3 i 3-10 µm (pomiar GRIMM) oraz stężenia masowe cząstek z zakresu 0,1-10 µm (pomiar DUST-TRAK) były większe w spawalni przed rozpoczęciem spawania od stężeń w powietrzu atmosferycznym w jej pobliżu. Świadczy to o tym, że w powietrzu atmosferycznym występowały przede wszystkim cząstki drobne, natomiast w pomieszczeniu – cząstki o większych wymiarach, które mogą pochodzić głównie z pyłu osiadłego na wyposażeniu. W wyniku ruchu powietrza (spowodowanego przemieszczeniem się osób lub przesuwaniem przedmiotów) cząstki osiadłe na różnych powierzchniach mogą ponownie przedostawać się do powietrza.

Stężenia powierzchniowe cząstek o wymiarach 0,01-1 µm (rys. 2.) określone podczas spawania stali kwasoodpornej elektrodami o symbolu OK 61.30/308L-17 osiągały maksymalnie wartości do około 6500 µm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>, podczas gdy przed spawaniem wynosiły maksymalnie 33 µm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup> (rys. 1.). A zatem, w trakcie prowadzonego spawania zaobserwowano ok. 197-krotny wzrost stężenia powierzchniowego cząstek, emitowanych jako cząstki ultradrobne i drobne (rys. 2.). Po zakończeniu spawania jeszcze przez kilka godzin stężenia powierzchniowe cząstek zawieszonych w powietrzu były znacznie wyższe niż przed rozpoczęciem spawania.

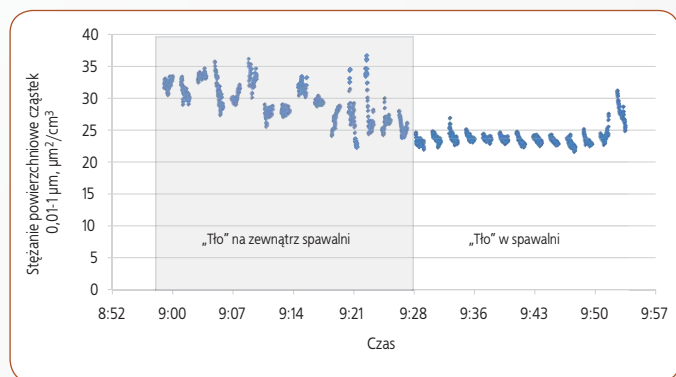
Tabela 2. Średnie stężenia masowe frakcji PM<sub>0,25</sub>, PM<sub>0,5</sub>, PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub> cząstek zawartych w dymach spawalniczych określone metodą filtracyjno-wagową z użyciem próbników PCIS

Table 2. Average mass concentrations of fractions PM<sub>0,25</sub>, PM<sub>0,5</sub>, PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub> particles in welding fumes determined with the gravimetric method with PCIS samplers

Rodzaj prób-nika	Frakcje pyłu	Średnie stężenie pyłu, mg/m <sup>3</sup>	Średni udział% w odniesieniu do frakcji PM <sub>10</sub>
PCIS	PM <sub>0,25</sub>	2,63	53
	PM <sub>0,5</sub>	2,69	54
	PM <sub>1</sub>	2,87	58
	PM <sub>2,5</sub>	3,17	64
	PM <sub>10</sub>	4,95	–

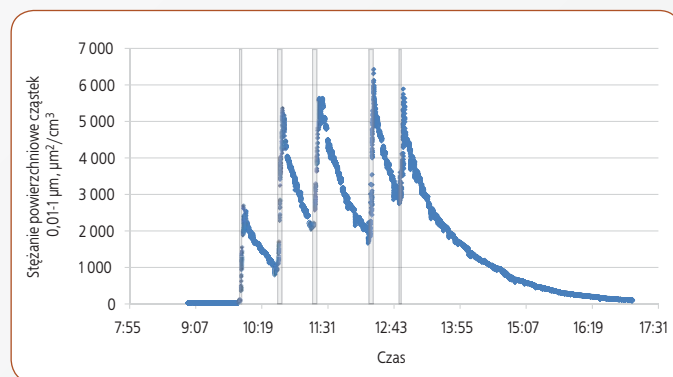
Z danych przedstawionych na rys. 4. wynika, że podczas spawania były emitowane, i utrzymywały się przez dłuższy czas w powietrzu, przede wszystkim cząstki o wymiarach z zakresów 0,4-0,5 µm i 0,5-1 µm (pomiar GRIMM). Stężenia cząstek o wymiarach 0,4-0,5 µm były bardzo wysokie, wynosiły około 8e<sup>6</sup> cząstek/dm<sup>3</sup> i przekraczały zalecany zakres pomiarowy licznika. Stężenia cząstek o wymiarach z zakresu 0,5-1 µm również były wysokie i wynosiły do około 3e<sup>6</sup> cząstek/dm<sup>3</sup>. O ile w przypadku stężeń powierzchniowych cząstek (rys. 2.) są wyraźnie zarysowane zmiany w zależności od momentu prowadzenia prac spawalniczych, to w przypadku wyników badań uzyskanych z zastosowaniem licznika GRIMM (rys. 4.) zmiany te nie są tak widoczne, tzn. że cząstki z zakresów wymiarowych 0,4-0,5 µm i 0,5-1 µm, które były emitowane do powietrza w spawalni utrzymały się cały czas w powietrzu, niezależnie od przerw, które występowały pomiędzy wykonywaniem kolejnych prac spawalniczych.

Analizując dane przedstawione na rys. 6. można stwierdzić, że podczas spawania stężenia masowe cząstek 0,1-10 µm określone z zastosowaniem miernika DUST-TRAK osiągały maksymalne wartości do około 26 mg/m<sup>3</sup>. Tak, jak w przypadku danych uzyskanych z zastosowaniem miernika AERO-TRAK, są wyraźnie zarysowane zmiany w zależności od momentu prowadzenia prac spawalniczych. Jest widoczne również, że jeżeli przerwy pomiędzy kolejnymi operacjami spawania nie były zbyt długie,



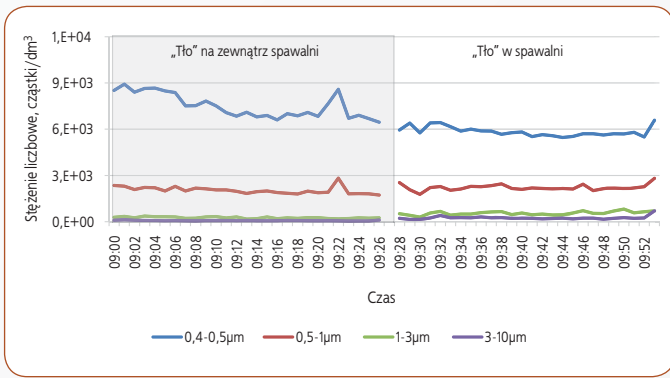
Rys. 1. Stężenie powierzchniowe cząstek z zakresu 0,01-1 µm w powietrzu atmosferycznym („tło” na zewnątrz spawalni) oraz w powietrzu w spawalni („tło” w spawalni) przed rozpoczęciem spawania (pomiar AERO-TRAK)

Fig. 1. Surface concentration of particles from the 0.01-1 µm range in atmospheric air (“background” outside the welding shop) and in the air in the welding shop (“background” in the welding shop) before welding (AERO-TRAK measurements)



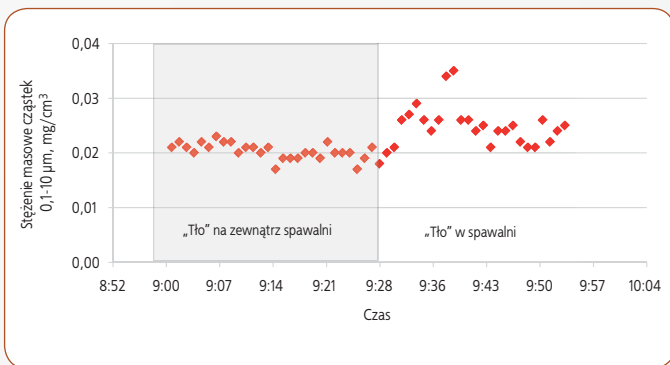
Rys. 2. Stężenie powierzchniowe cząstek z zakresu 0,01-1 µm w powietrzu na zewnątrz spawalni oraz w powietrzu w spawalni przed rozpoczęciem spawania, w trakcie spawania (tab. 1. – szare słupki wskazują czas 5 kolejnych operacji spawania) i po jego zakończeniu (pomiar AERO-TRAK)

Fig. 2. Surface concentration of particles from the 0.01-1 µm range in the air outside the welding shop and in the air in the welding shop before, during (see table 1- grey bays indicated time of 5 following operations of welding) and after welding (AERO-TRAK measurements)



Rys. 3. Stężenie liczbowe cząstek z zakresu 0,4-0,5 µm, 0,5-1 µm, 1-3 µm i 3-10 µm w powietrzu atmosferycznym („tło” na zewnątrz spawalni) oraz w powietrzu w spawalni przed rozpoczęciem spawania (pomiar GRIMM)

Fig. 3. Number concentration of particles from the 0.4-0.5 µm, 0.5-1 µm, 1-3 µm and 3-10 µm ranges in atmospheric air (“background” outside the welding shop) and in the air in the welding shop (“background” in the welding shop) before welding (GRIMM measurements)



Rys. 5. Stężenie masowe cząstek z zakresu 0,1-10 µm w powietrzu atmosferycznym („tło” na zewnątrz spawalni) oraz w powietrzu w spawalni przed rozpoczęciem spawania (pomiar DUST-TRAK)

Fig. 5. Mass concentration of particles from the 0.1-10 µm range in atmospheric air (“background” outside the welding shop) and in the air in the welding shop (“background” in the welding shop) before welding (DUST-TRAK measurements)

dochodziło do kumulowania się w powietrzu cząstek o wymiarach 0,1-10 µm pochodzących z wcześniejszych operacji spawalniczych. Po zakończeniu spawania jeszcze przez kilka godzin stężenia masowe cząstek o wymiarach 0,1-10 µm zawieszonych w powietrzu były znacznie wyższe od stężeń masowych określonych przed rozpoczęciem spawania w pomieszczeniu spawalni, które nie przekraczały 0,04 mg/m³ (rys. 5.). Zatem w wyniku spawania zaobserwowano około 650-krotny wzrost stężenia masowego emitowanych cząstek o wymiarach z zakresu 0,1-10 µm.

## Podsumowanie

W wyniku analizy uzyskanych wyników badań stwierdzono, że podczas całego dnia pracy spawacz może być narażony na zmienne ilości cząstek, z reguły o wymiarach poniżej 10 µm, przy czym dymy spawalnicze zwykle zawierają większą liczbę cząstek ultradrobnych i drobnych, o wymiarach poniżej 1 µm.

Uwzględniając powyższe należy przyjąć, że ocena narażenia na cząstki emitowane podczas spawania powinna być prowadzona w sposób kompleksowy i obejmować zarówno analizę stężeń masowych określonych metodą filtracyjno-wagową, jak również analizę rozkładów wymiarowych

cząstek oraz ich stężeń liczbowych i stężeń powierzchniowych.

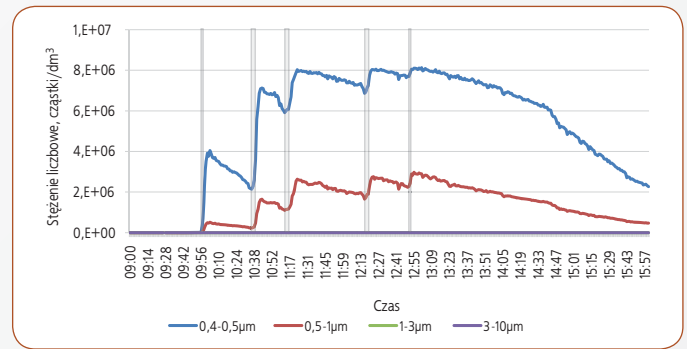
Należy jednak podkreślić, że podstawą metodyk stosowanych do oznaczenia rozkładów wymiarowych, stężeń liczbowych oraz stężeń powierzchniowych cząstek z reguły nie są pomiary w odniesieniu do średnicy aerodynamicznej cząstek, która jest najbardziej istotna z uwagi na ocenę procesu osadzania się cząstek w układzie oddechowym człowieka, tym niemniej uzyskiwane wyniki dostarczają bardzo istotnych informacji dotyczących charakterystyki cząstek w momencie ich rzeczywistej emisji oraz zmienności tej emisji w czasie, obrazując rzeczywiste narażenie pracownika na cząstki zawarte w dymach spawalniczych.

## PIŚMIENICTWO

[1] PN-EN ISO 10882-1:2004 *Zdrowie i bezpieczeństwo przy spawaniu i procesach pokrewnych. Pobieranie próbek cząstek zawieszonych w powietrzu i gazach w strefie oddychania spawacza. Część 1: Pobieranie próbek cząstek zawieszonych w powietrzu*

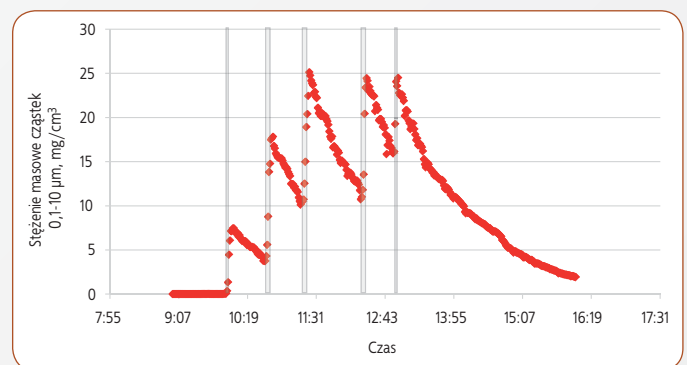
[2] PN-EN ISO 10882-2:2005 *Zdrowie i bezpieczeństwo przy spawaniu i procesach pokrewnych. Pobieranie próbek cząstek zawieszonych w powietrzu i gazach w strefie oddychania spawacza. Część 2: Pobieranie próbek gazów*

[3] PN-Z-04008-7:2002+A1:2004 *Ochrona czystości powietrza. Pobieranie próbek. Zasady pobierania próbek powietrza w środowisku pracy i interpretacji wyników*



Rys. 4. Stężenie liczbowe cząstek z zakresu 0,4-0,5 µm, 0,5-1 µm, 1-3 µm i 3-10 µm w powietrzu na zewnątrz spawalni oraz w powietrzu w spawalni przed rozpoczęciem spawania, w trakcie spawania (tab. 1. – szare słupki wskazują czas 5 kolejnych operacji spawania) i po jego zakończeniu (pomiar GRIMM)

Fig. 4. Number concentration of particles from the 0.4-0.5 µm, 0.5-1 µm, 1-3 µm and 3-10 µm ranges in the air outside the welding shop and in the air in the welding shop before, during (see table 1- grey bays indicated time of 5 following operations of welding) and after welding (GRIMM measurements)



Rys. 6. Stężenie masowe cząstek z zakresu 0,1-10 µm w powietrzu na zewnątrz spawalni oraz w powietrzu w spawalni przed rozpoczęciem spawania, w trakcie spawania (tab. 1. – szare słupki wskazują czas 5 kolejnych operacji spawania) i po jego zakończeniu (pomiar DUST-TRAK)

Fig. 6. Mass concentration of particles from the 0.1-10 µm range in the air outside the welding shop and in the air in the welding shop before, during (see table 1- grey bays indicated time of 5 following operations of welding) and after welding (DUST-TRAK measurements)

[4] PN-91/Z-04030/05 *Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości pyłu. Oznaczanie pyłu całkowitego na stanowiskach pracy metodą filtracyjno-wagową*

[5] PN-91/Z-04030/06 *Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości pyłu. Oznaczanie pyłu respirabilnego na stanowiskach pracy metodą filtracyjno-wagową*

[6] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU nr 217, poz. 1833) wraz ze zm.

[7] W. Matczak, J. Gromiec *Zasady oceny narażenia spawaczy na dymy i gazy*. Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera. Łódź 2003

[8] E. Jankowska i in. *Badanie stężeń i rozkładu wymiarowego cząstek pyłów emitowanych w procesach wysokotemperaturowych*. Projekt badawczy nr 2.R.03 zrealizowany w ramach programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” etap I. CIOP-PIB, Warszawa, 2008-2010 [praca niepublikowana]

Publikacja opracowana na podstawie wyników I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2008-2010 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.