

mgr inż. TOMASZ JANKOWSKI
dr inż. ELŻBIETA JANKOWSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Wykorzystanie metod wizualizacji przepływu powietrza i znaczników gazowych w badaniach rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w pomieszczeniu pracy

W artykule przedstawiono wyniki badań rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu pracy z zastosowaniem metod wizualizacji przepływu powietrza oraz znaczników gazowych. Badania przeprowadzono przez określanie kierunków przepływu powietrza i stężeń znacznika gazowego w strefie oddychania pracowników obsługujących stanowisko pracy, stanowiące źródło emisji, oraz w strefie oddychania pracownika wykonującego czynności na stanowisku pracy, znajdującym się w tym samym pomieszczeniu.

The use of the airflow visualization and the tracer gas methods in investigating the distribution of air pollutants at an industrial workplace

The article presents the results of investigations of the distribution of air pollutants at industrial workplaces using the airflow visualization method and the tracer gas method. The direction of the airflow and the concentration of the tracer gas were studied in the workers' breathing zone at two workstands – one with the source of pollutant emission and the other located in the same workplace.

Wprowadzenie

Eliminowanie lub ograniczenie zagrożenia zanieczyszczeniami powietrza powstającymi w procesach produkcyjnych powinno być przede wszystkim realizowane przez wychwytywanie zanieczyszczeń bezpośrednio u źródła ich emisji oraz właściwy przepływ powietrza w pomieszczeniu pracy. Najwłaściwszym rozwiązaniem jest szczelne obudowanie maszyny produkcyjnej, która pracując emituje zanieczyszczenia.

Całkowite lub częściowe obudowanie maszyn produkcyjnych nie zawsze jest możliwe. Stosuje się wówczas urządzenia wentylacji miejscowej wyposażone w ssawki, okapy (stacjonarne lub przestawne), połączone z instalacją odpylającą albo urządzeniem filtracyjno-wentylacyjnym [1]. Dobór parametrów konstrukcyjno-przepływowych urządzenia do wychwytywania zanieczyszczeń (m.in. kształt, parametry przepływowe i lokalizacja elementu wychwytyującego zanieczyszczenia względem źródła ich emisji) istotnie wpływa na kierunek, kształt i zasięg obszaru, w którym element wychwytyujący zanieczyszczenia bezpośrednio u źródła ich emisji działa skutecznie. Ilość zanieczyszczeń wychwyconych u źródła emisji oraz ulegających rozprzestrzenianiu się w całym pomieszczeniu pracy jest uzależniona od efektywności działania urządzenia wentylacji miejscowej, tzn. od skuteczności działania elementu wychwytyującego zanieczyszczenia oraz jego umiejscowienia w odniesieniu do źródła emisji zanieczyszczeń. Nieefektywne

działanie urządzenia wentylacji miejscowej może w konsekwencji prowadzić do wzrostu stężeń zanieczyszczeń w strefie oddychania pracowników na stanowisku pracy, stanowiącym źródło emisji i na stanowiskach pracy znajdujących się w tym samym pomieszczeniu. Na sposób rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w pomieszczeniu pracy wpływa ruch powietrza wywołany przez działanie urządzenia wentylacji miejscowej i maszyny produkcyjnej, obecność pracowników oraz wymianę powietrza w wyniku działania wentylacji ogólnej i wentylacji naturalnej (np. nieszczelności w stolarnie okiennej, przewietrzanie pomieszczenia) [2].

W krajach UE do badania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza i oceny skuteczności działania systemów wentylacyjnych w pomieszczeniach są stosowane techniki pomiarowe wykorzystujące metodę wizualizacji przepływu i metodę znaczników gazowych [3, 4, 5].

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym metody te stosowano do lokalizowania obszarów wentylowanych i nie wentylowanych w pomieszczeniach pracy [6, 7, 8]. Kolejne prace były ukierunkowane na ocenę ochrony przed zagrożeniem zanieczyszczeniami powietrza na podstawie analizy rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń ze źródła i przepływu powietrza w pomieszczeniach pracy [9].

W artykule przedstawiono wyniki badań rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu pracy z zastosowaniem metod wizualizacji przepływu

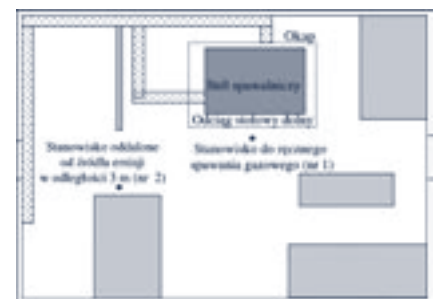
powietrza oraz znaczników gazowych. Badania przeprowadzono przez określanie kierunków przepływu powietrza i stężeń znacznika gazowego w strefie oddychania pracownika obsługującego stanowisko pracy, stanowiące źródło emisji, oraz w strefie oddychania pracownika wykonującego czynności na stanowisku pracy, znajdującym się w tym samym pomieszczeniu.

Obiekt badań

Badania wykonano w pomieszczeniu pracy, w którym są emitowane dymy spawalnicze (rys. 1.). Pomiary przeprowadzono na dwóch stanowiskach pracy:

- stanowisku do ręcznego spawania gazowego, stanowiącego źródło emisji dymów spawalniczych (nr 1)
- stanowisku oddalonym od źródła emisji w odległości 3 m (nr 2).

Stanowisko nr 1 było wyposażone w nieruchomy system wychwytywania dymów spawalniczych. Urządzenie do wychwytywania zanieczyszczeń składało się z odciągu stołowego dolnego oraz okapu umieszczonego w odległości 1,5 m od płaszczyzny spawania. Powietrze wraz z zanieczyszczeniami było odprowadzane na zewnątrz pomieszczenia jednym przewodem o przekroju prostokątnym przy pomocy wentylatora kanałowego.



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia stanowisk pracy i elementów wentylacji miejscowej w badanym pomieszczeniu

Fig. 1. A diagram of the testing room and the location of the workstands

Metody badań

W badaniach rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w badanym pomieszczeniu zastosowano metody wizualizacji przepływu powietrza i znaczników gazowych.

W metodzie wizualizacji przepływu powietrza dym testowy wytwarzano w źródle emisji zanieczyszczeń za pomocą zestawu rurek zadymiających (Dräger), a następnie obserwowano i utrwalano aparatem cyfrowym kierunki przepływu dymu w strefie oddychania pracowników na stanowiskach pracy. Obserwacje dymu przeprowadzono, gdy system wychwytywania zanieczyszczeń był wyłączony i włączony.

Metoda znaczników gazowych polegała na dozowaniu znacznika w miejscu emisji zanieczyszczeń (stanowisko nr 1) przez czas $\tau_0 = 60$ s oraz na określaniu zmian stężenia tego gazu w zależności od czasu przebywania, tzn. do $\tau_k = 900$ s w określonej przestrzeni odpowiadającej strefie oddychania pracowników na stanowiskach pracy (na wysokości 1,5 m od podłogi pomieszczenia). Jako substancję symulującą emisję zanieczyszczeń ze źródła zastosowano charakteryzujący się niskim stężeniem w tle znacznik gazowy – heksafluorek siarki (SF_6). Pomiary stężenia SF_6 przeprowadzono za pomocą przenośnego analizatora gazu MIRAN SapphIRe model 100E (Foxboro), gdy system wychwytywania zanieczyszczeń był wyłączony i włączony.

Wyniki badań

Wyniki wizualizacji kierunków rozprzestrzeniania się dymu testowego emitowanego ze źródła (stanowisko nr 1) w badanym pomieszczeniu, gdy system



Fot. 1. Wizualizacja przepływu dymu na stanowisku pracy w badanym pomieszczeniu, gdy system wychwytywania zanieczyszczeń był wyłączony

Fot. 1. Airflow visualization at workstand, when the local exhaust ventilation was turned off



Fot. 2. Wizualizacja przepływu dymu na stanowisku pracy w badanym pomieszczeniu, gdy system wychwytywania zanieczyszczeń był włączony

Fot. 2. Airflow visualization at workstand, when the local exhaust ventilation was turned on

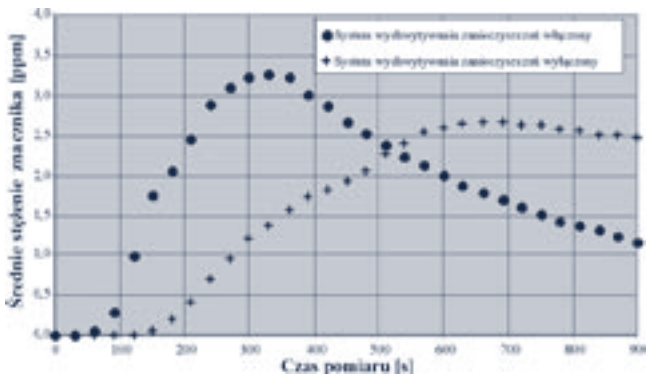
wychwytywania zanieczyszczeń był wyłączony i włączony przedstawiono odpowiednio na fot. 1. i 2.

Zaobserwowano, że w przypadku włączonego systemu wychwytywania zanieczyszczeń dym testowy rozprzestrzeniał się z dużą intensywnością w kierunku obszaru obejmującego strefę oddychania pracownika na stanowisku nr 1 (fot. 1.), natomiast znacznie mniejszą w kierunku pracownika wykonującego czynności na stanowisku nr 2 (rys. 1.). Włączenie odciaгу stołowego dolnego i okapu spowodowało ukierunkowanie przepływu części dymu testowego do elementów wychwytyjących zanieczyszczenia. Jak wynika z wizualizacji

przepływu, wykonanej przy włączonym systemie wychwytywania (fot. 2.), dym testowy rozprzestrzeniał się w kierunku strefy oddychania pracowników na stanowiskach nr 1 i nr 2 ze znacznie mniejszą intensywnością niż w przypadku wyłączonego systemu wychwytywania.

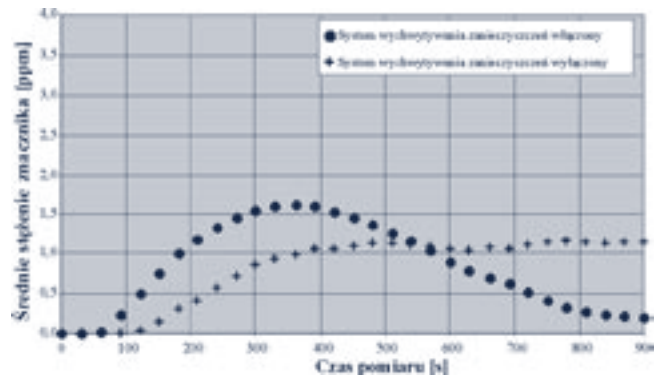
Wyniki pomiarów stężenia znacznika gazowego w punktach odpowiadających strefie oddychania pracowników, przy wyłączonym i włączonym systemie wychwytywania zanieczyszczeń przedstawiono odpowiednio na rys. 2. i 3.

Przebieg zmian stężenia znacznika na obydwu stanowiskach pracy charakteryzował się podobną tendencją przy



Rys. 2. Rozkład stężenia znacznika gazowego w strefie oddychania pracownika na stanowisku nr 1 (źródło emisji dymów spawalniczych)

Fig. 2. Distribution of the tracer concentration at workstand No. 1 (the emission source of pollutants)



Rys. 3. Rozkład stężenia znacznika gazowego w strefie oddychania pracownika wykonującego czynności na stanowisku nr 2 (oddalone od źródła emisji w odległości 3 m)

Fig. 3. Distribution of the tracer concentration at workstand No. 2 (located about 3m from the emission source)

wyłączonym i włączonym systemie wychwytywania.

W czasie emisji znacznika ze źródła przy wyłączonym systemie wychwytywania, zarówno na stanowisku nr 1 jak i na stanowisku nr 2, zaobserwowano wzrost, a następnie ustabilizowanie się stężenia znacznika. Z porównania wyników pomiarów w fazie ustabilizowania stężenia wynika, że średnia wartość stężenia SF₆ na stanowisku nr 1 była 2,4-krotnie większa od wartości stężenia znacznika oznaczonego na stanowisku nr 2. Czas osiągnięcia stabilności stężenia znacznika na stanowisku nr 1 był 1,7-krotnie dłuższy od czasu na stanowisku nr 2.

Po włączeniu systemu wychwytywania zanieczyszczeń, w wyniku powstawania zawirowań przepływu powietrza, na obydwu stanowiskach stężenie znacznika wzrastało do wartości większych niż wartości stężenia SF₆ zmierzone przy wyłączonym systemie wychwytywania. Maksymalną wartość stężenia znacznika, zarówno na stanowisku nr 1, jak i na stanowisku nr 2, oznaczono po tym samym czasie przebywania $\tau = 330$ sekund. W porównaniu do maksymalnej wartości stężenia znacznika zmierzonej na stanowisku nr 2 (rys. 3.), stężenie SF₆ na stanowisku nr 1 (rys. 2.) było 2-krotnie wyższe. Po czasie $\tau = 330$ sekund występował znaczny spadek stężenia znacznika, w konsekwencji czego w czasie $\tau = 900$ sekund wartości stężenia SF₆ były 2,1-krotnie mniejsze na stanowisku nr 1 i 5,8-krotnie mniejsze na stanowisku nr 2 niż wartości stężenia oznaczone przy wyłączonym systemie wychwytywania.

Podsumowanie

Na podstawie analizy wizualizacji przepływu powietrza i wyników pomiaru stężeń znacznika przeprowadzonych w badanym pomieszczeniu stwierdzono, że zastosowane metody pomiarowe mogą być w praktyce wykorzystywane do oceny

rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza w środowisku pracy.

Wartości stężenia znacznika gazowego w strefie oddychania pracownika na stanowisku nr 1 i pracownika wykonującego czynności na stanowisku nr 2 były istotnie zdeterminowane odległością od źródła emisji zanieczyszczeń oraz włączeniem i wyłączeniem systemu wychwytywania zanieczyszczeń podczas badań.

Badania wykazały, że istotny wpływ na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń ze źródła ich emisji do strefy oddychania pracowników ma ruch powietrza wywołany przy uruchomieniu i działaniu urządzenia wentylacji miejscowej.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Jankowska E., Więcek E. Pyły. Podstawowe czynniki zagrożeń w środowisku pracy. *Bezpieczeństwo pracy i ergonomia*. Red. nauk. D. Koradecka, T.1, CIOPI, Warszawa 1999, 269-321
- [2] ACGIH, Industrial ventilation – A Manual of Recommended Practice, 23rd Edition, New York 1998
- [3] Fletcher B., Johnson A. E. Ventilation of small factory units. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 40, 1992, 293-305
- [4] Bemer D., Dessagne, J. M. & Aubertin G. Evaluation of the emission rate from a gaseous source: Development of a method using a tracer gas. *AIHA J*, 60, 1999, 354-362
- [5] Rydock J. P., Hermansen O. A tracer method for evaluating recirculation of pollutant releases in buildings. *AIHA J*, 63, 2002, 234-238
- [6] Jankowska E., Jankowski T. Znaczniki gazowe w technice wentylacyjnej. „Bezpieczeństwo Pracy” 9(362) 2001, 15-19
- [7] Jankowska E., Jankowski T. Investigation of air flow distribution in working room. “Sigurnost”, 44(1) 2002, 1-13
- [8] Jankowska E., Jankowski T., Kondej D. Badanie obszarów wentylowanych i niewentylowanych w pomieszczeniu pracy. „Bezpieczeństwo Pracy” 1(378) 2003, 17-19
- [9] Jankowski T. i inni Ocena ochrony przed zagrożeniami pyłami na podstawie analizy mechanizmów emitowania pyłów ze źródła i przepływów powietrza w pomieszczeniach pracy – sprawozdanie z realizacji 2 etapu zadania badawczego II-5.05, CIOPI, Warszawa 2003

Praca wykonana w ramach programu wieloletniego pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej”, dofinansowywanego w latach 2002-2004 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Komitet Badań Naukowych. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

W najbliższym czasie w ramach polskiej edycji kampanii informacyjnej STOP HAŁASOWI! odbędą się następujące imprezy:

- 23 maja, Urząd Miasta w Puławach – **szkolenie** pt. *Ochrona przed hałasem*, skierowane do pracodawców, właścicieli małych i średnich przedsiębiorstw, którzy pragną zdobyć niezbędną wiedzę w zakresie ochrony pracowników przed hałasem

- 31 maja, Obywatelski Ośrodek Kultury i Sztuki „Resursa Obywatelska”, Radom – **zakończenie ogólnopolskiego konkursu plastycznego** dla dzieci ze szkół podstawowych pn. *Ciszej i bezpieczniej*, wręczenie nagród laureatom i wystawa nagrodzonych prac

- 30 maja – 5 czerwca, cykl imprez w ramach **Tygodnia Walki z Hałasem** w Puławach pod patronatem Prezydenta Miasta, Janusza Grebla, współorganizowany przez Państwową Inspekcję Pracy i Zakłady Azotowe PUŁAWY S.A., **patronat medialny: TVP 1, Tygodnik Puławski, Tygodnik Powiśla, Serwis internetowy Puławy online**

- 16 V – 5 VI, **cykl audycji radiowych** o hałasie emitowanych w Zakładach Azotowych PUŁAWY S.A. oraz **konkurs plastyczny STOP HAŁASOWI!** dla uczniów klas IV-VI puławskich szkół podstawowych

- 24 maja, godz. 8.00–15.00, dyżur telefoniczny w Okręgowym Inspektoracie Pracy w Lublinie, tel. 081 532-42-01

- 30 V – 3 VI, **Hałas oczami artystów** – w Domu Chemika wystawa plakatów 4. edycji konkursu na plakat bezpieczeństwa pracy

- 1 czerwca, **Porozmawiajmy o hałasie spotkanie z uczniami** Zespołu Szkół Technicznych w Puławach na temat zagrożenia hałasem w środowisku pracy i życia człowieka

- 5 czerwca, Stadion Miejski – **finał Tygodnia Walki z Hałasem** pod hasłem: *Mówmy głośniej o tym, żeby było ciszej, piknik miejski* z okazji Dnia Chemika organizowany przez Zakłady Azotowe PUŁAWY S.A.

- 11 czerwca, Lubawa – **seminarium Hałas w przemyśle drzewnym** na temat zagrożeń występujących na stanowiskach pracy w przemyśle drzewnym oraz blok programowy podczas **pikniku miejskiego**

- 21 czerwca, Poznań – **seminarium Ochrona przed hałasem** w ramach Międzynarodowych Targów Ochrony Pracy, Pożarnictwa i Ratownictwa SAWO 2005, które odbędą się w dniach 20-23 czerwca br.

- 1 lipca, **zamknięcie konkursu Nagroda za Dobrą Praktykę** skierowanego do przedsiębiorstw; tematem tegorocznej edycji są najlepsze rozwiązania ograniczające hałas w środowisku pracy.



Osoby zainteresowane szerszymi informacjami o kampanii zapraszamy na strony:

<http://ew2005.osha.eu.int/infopack/>,
<http://www.bp.edu.pl>