

dr inż. KATARZYNA MAJCHRZYCKA  
Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy

## Wskaźnik ochrony – podstawowe kryterium doboru sprzętu ochrony układu oddechowego

W krajach Unii Europejskiej zagadnienia prawne dotyczące środków ochrony indywidualnej, stosowanych w celu ochrony przed jednym lub wieloma zagrożeniami, regulują dwie dyrektywy [1, 2]. Jedną z nich [2] dotyczy zasad oceny zgodności z zasadniczymi wymaganiami bezpieczeństwa (89/686/EWG), ma więc bezpośrednio przełożenie na uregulowania związane z wprowadzaniem tego typu wyrobów do obrotu handlowego. W tym kontekście dyrektywa ta dotyczy producentów lub dystrybutorów środków ochrony indywidualnej.

Wypełnienie postanowień tej dyrektywy nie jest jednak wystarczające do zapewnienia bezpieczeństwa użytkownikom indywidualnych środków ochronnych. W tym celu konieczne było opracowanie zasad związanych z doбором i szeroko pojętym użytkowaniem, których przestrzeganie przez osoby zarządzające stosowaniem środków ochrony indywidualnej w zakładzie pracy, powinno przyczynić się do zapewnienia bezpieczeństwa pracownikom. Zasady, o których mowa, zawarte w dyrektywie Unii Europejskiej nr 89/656/EWG [1] zostały wprowadzone do prawa polskiego rozporządzeniem ministra pracy i polityki społecznej z dnia 11 czerwca 2002 roku, zmieniającego rozporządzenie w sprawie ogólnych przepisów bhp [3]. W myśl nowych przepisów jednym z ważniejszych problemów związanych ze stosowaniem środków ochrony indywidualnej jest dostrzeganie potrzeb i wymagań użytkownika, a nie tylko odpowiedni dobór tych środków do czynników niebezpiecznych i szkodliwych występujących na stanowiskach pracy.

Przestrzeganie zasad prawidłowego doboru i stosowania środków ochrony indywidualnej jest szczególnie istotne w odniesieniu do środków, które służą do ochrony przed zagrożeniami życia i zdrowia mogącymi powodować poważne

i nieodwracalne skutki, których użytkownik sam nie może ocenić. Do tej grupy należy sprzęt chroniący układ oddechowy, a więc taki, którego zadaniem jest stworzenie skutecznej bariery przed wnikaniem czynników chemicznych przez układ oddechowy. W tym aspekcie duże znaczenie ma zapewnienie prawidłowego doboru sprzętu, przez osiągnięcie kompromisu pomiędzy skutecznością ochronną, czasem użytkowania i akceptacją użytkownika.

Szczególnego potraktowania wymaga dobór sprzętu do stosowania w tzw. sytuacjach bezpośredniego zagrożenia życia i zdrowia. Do takich warunków można zaliczyć występowanie niedoboru tlenu, gwałtowny wyciek czynnika chemicznego, niezamierzone reakcje substancji chemicznych, powodujące nagłą zmianę składu atmosfery środowiska pracy, a także warunki, w których prowadzone są akcje ratownicze.

W celu zapewnienia możliwości dokonania prawidłowego doboru sprzętu ochrony układu oddechowego do wymienio-nych zagrożeń i czynności zawodowych, konieczne jest opracowanie i wdrożenie sposobu wyznaczania skuteczności ochronnej sprzętu w przewidywanych warunkach jego stosowania oraz procedury doboru opierającej się na wskaźniku.

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym prowadzone są prace zmierzające do opracowania wskaźnika, który pozwoli na ocenę skuteczności ochronnej użytkowanych środków, bez względu na ich zasadę działania, czyli uniwersalnego w odniesieniu do różnych zagrożeń układu oddechowego. Metoda wyznaczania tego wskaźnika powinna uwzględniać czynniki związane z użytkowaniem sprzętu ochrony układu oddechowego, zwłaszcza możliwość jego dopasowania do twarzy użytkownika w czasie spoczynku i dowolnej zmiany pozycji ciała.

*Publikacja opracowana na podstawie wyników zadań badawczych wykonanych w ramach projektu celowego zamawianego nr 16-21 pn. „System analizy wydarzeń wypadkowych w środowisku pracy dla potrzeb profilaktyki”*

### Koncepcja doboru

Podstawowym elementem procedury doboru środków ochrony indywidualnej, w tym także sprzętu ochrony układu oddechowego, jest ocena ryzyka zawodowego [4].

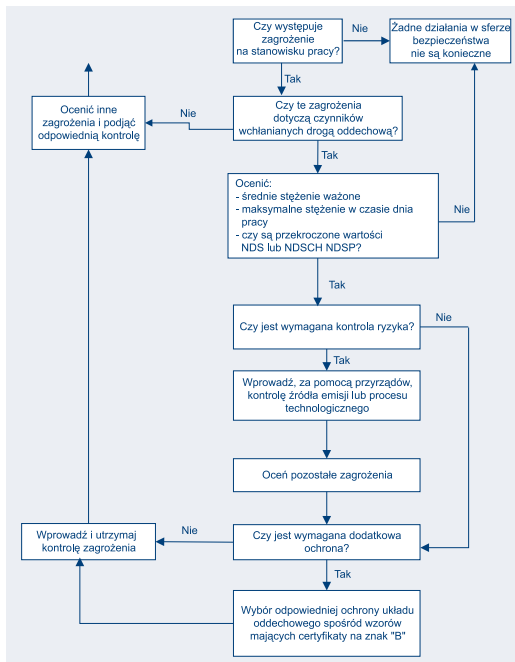
W tym celu konieczna jest identyfikacja zagrożeń, polegająca na pomiarze stężeń wszystkich występujących czynników niebezpiecznych lub szkodliwych, a następnie ustaleniu czasu narażenia pracownika oraz określeniu dodatkowych uwarunkowań środowiska pracy, ze szczególnym uwzględnieniem rodzaju wykonywanej pracy, klimatu, atmosfery wybuchowej, wentylacji i gabarytów pomieszczeń.

Przykład algorytmu postępowania przy ocenie ryzyka spowodowanego wystąpieniem szkodliwych substancji chemicznych wchłanianych przez układ oddechowy przedstawiono na rysunku [5].

W odniesieniu do zagrożeń czynnikami chemicznymi należy zawsze brać pod uwagę, że pracownik może być narażony na działanie większej liczby czynników. W takim przypadku konieczne jest ustalenie czy związki te pozostają w stosunku do siebie w działaniu:

- niezależnym
- addytywnym (efekty ich działania podlegają sumowaniu)
- synergistycznym (następuje potęgowanie działania toksycznego)
- antagonistycznym (osłabienie działania substancji toksycznej).

Jak wynika z przedstawionego algorytmu (rysunek) wybór rodzaju sprzętu



Rys. Algorytm postępowania przy szacowaniu ryzyka, w przypadku narażenia na czynniki niebezpieczne i szkodliwe dla układu oddechowego [6]

ochrony układu oddechowego zależy od relacji w jakiej występuje stężenie szkodliwych substancji chemicznych w środowisku pracy do wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS) tych czynników. Im większe jest przekroczenie dopuszczalnych wartości stężeń, tym ochrona powinna charakteryzować się wyższą skutecznością, a zatem wskaźnik ochrony powinien mieć większą wartość.

Mówiąc najogólniej, wskaźnik ochrony wyraża krotność obniżenia stężenia zanieczyszczeń występujących w środowisku pracy wskutek zastosowania odpowiedniego typu sprzętu ochrony układu oddechowego, do takiego poziomu, aby w powietrzu wdychanym stężenie niebezpiecznych substancji chemicznych było poniżej wartości ich NDS. Z definicji tej wynika, że wartość wskaźnika ochrony zależy przede wszystkim od typu sprzętu ochrony układu oddechowego, a następnie od takich dodatkowych warunków, jak: indywidualne dopasowanie sprzętu, właściwe funkcjonowanie oraz warunki jego użytkowania. W terminologii europejskiej funkcjonują trzy rodzaje wskaźnika ochrony [6]:

- spodziewany wskaźnik ochrony (APF – *assigned protection factor*)
- użytkowy wskaźnik ochrony (WPF – *workplace protection factor*)
- nominalny wskaźnik ochrony (NPF – *nominal protection factor*).

Spodziewany wskaźnik ochrony (APF) jest to poziom skuteczności sprzę-

tu ochrony układu oddechowego na stanowisku pracy, osiągany przez 95% użytkowników, gdy spełnione są warunki właściwego stosowania ochron, jak: przeprowadzenie odpowiedniego szkolenia i prowadzenia właściwej kontroli użytkownika, prawidłowego funkcjonowania i dopasowania stosowanego sprzętu.

**Użytkowy wskaźnik ochrony (WPF)** jest to zmierzony na danym stanowisku pracy wskaźnik ochrony, wyznaczony dla użytkownika sprzętu ochrony układu oddechowego, w celu indywidualnego dopasowania sprzętu.

**Nominalny wskaźnik ochrony (NPF)** to maksymalna procentowa wartość całkowitego przecieku wewnętrznego, wyznaczona dla każdej klasy ochronnej sprzętu zgodnie z normami serii PN-EN.

Z porównania tak zdefiniowanych wskaźników ochrony pod kątem ich przydatności w procedurze doboru sprzętu ochrony układu oddechowego wynika, że **tylko spodziewany wskaźnik ochrony (APF) można traktować jako uniwersalny**. Nominalny wskaźnik ochrony, wyznaczany laboratoryjnie w stabilnych warunkach atmosfery aerozolu chlorku sodu, pełni jedynie rolę kryterium klasyfikacji ochronnej. Wyznaczenie użytkowego wskaźnika ochrony, zapewnia indywidualne bezpieczeństwo pracownikom stosującym sprzęt ochrony układu oddechowego, ale konieczność posiadania przez przedsiębiorstwo własnej aparatury pomiarowej, czyni wskaźnik ten mało popularny wśród użytkowników.

Z tego powodu w krajach UE, a także w Polsce trwają prace zmierzające do ustalenia wartości spodziewanego wskaźnika ochrony (APF), który zgodnie z definicją stanie się uniwersalnym narzędziem stosowanym w procedurze doboru klasy ochronnej sprzętu.

Wychodząc z tego założenia, opracowano **schemat doboru skuteczności ochronnej sprzętu**, którego podstawą jest wskaźnik ochrony, wyznaczany w warunkach zbliżonych do spodziewanych warunków użytkowania.

W schemacie tym:

**I etap** zakłada obliczenie wymaganej (minimalnej) wartości wskaźnika ochrony (MAPF – *minimum assigned protection factor*) według wzoru:

$$MAPF = \frac{\text{stężenie zanieczyszczenia środowiska zewnętrznego}}{\text{najwyższe dopuszczalne stężenie szkodliwych substancji chemicznych w powietrzu środowiska pracy (NDS)}}$$

**II etap** przewiduje porównanie obliczonego MAPF z wartościami rzeczywi-

stych wskaźników ochrony w zakresie odpowiedniej grupy środków ochrony układu oddechowego, w celu wyboru sprzętu, którego rzeczywisty wskaźnik ochrony jest co najmniej równy wartości wyliczonej MAPF.

A oto przykładowy sposób postępowania w odniesieniu do określonego środowiska pracy – dane: średnie ważone stężenie pyłu obliczone dla 8 godzin pracy wynosi 20 mg/m<sup>3</sup>, NDS tego pyłu wynosi 5 mg/m<sup>3</sup>.

Minimalny wskaźnik ochrony wynosi 4, co oznacza, że należy zastosować do ochrony układu oddechowego sprzęt, który zapewni rzeczywiste 4-krotne obniżenie stężenia zanieczyszczenia w strefie oddechowej (pod częścią twarzą) w odniesieniu do stężenia zanieczyszczenia atmosfery środowiska pracy.

Realizacja tej procedury wymaga wyznaczenia wartości wskaźników ochrony APF, w sposób zapewniający uwzględnienie podstawowych aspektów związanych z oceną szczelności części twarzowych sprzętu, podczas wykonywania przez pracowników różnych czynności zawodowych.

Jak dotąd, brak jest na świecie uniwersalnej metody, która byłaby stosowana obligatoryjnie.

### Metody wyznaczania wskaźnika ochrony na świecie

Najwięcej prac badawczych z omawianego zakresu prowadzono w Stanach Zjednoczonych. Interesujące rezultaty uzyskano dzięki połączeniu ćwiczeń praktycznych z oceną subiektywną uczestnika badań [7]. Ocena ta polega na identyfikacji, za pomocą zmysłu węchu, momentu wnikięcia aerozolu testowego w strumień powietrza wdychanego. Badanie przecieku prowadzono w atmosferze acetonu isoamyłowego. Uczestnicy ćwiczeń w kompletnym sprzęcie ochronnym układu oddechowego przebywali w komorze, gdzie utrzymywane było stężenie gazu znacznikowego na poziomie 8 mg/m<sup>3</sup>. W czasie 10 minut wykonywali ćwiczenia polegające na zdejmowaniu prostokątnych bloków o wymiarach 0,1 · 0,075 m (masa około 1 kg) z półki umieszczonej na poziomie 0,3 m powyżej głowy uczestnika badań i układaniu z nich stosu na podłodze w odległości co najmniej 2 kroków od półki. Czynności te uczestnik wykonywał z częstotliwością 6 – 8 bloków na minutę. Po zakończeniu ćwiczeń dokonano oceny sprzętu, określając czy w powietrzu wdychanym wykonalny był zapach gazu znacznikowe-

go, zaś uczestnik badań dokonywał oceny stopnia dyskomfortu pracy w sprężeniu. Taka organizacja badań umożliwia jednoczesną ocenę szczelności dopasowania i parametrów związanych z ergonomią sprzętu, jednakże wadą zaprezentowanej metody jest znaczna subiektywność oceny.

Aby wyeliminować ten element, opracowano w The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) metodę badania przecieku, polegającą na pomiarze stężenia aerozolu testowego na zewnątrz i wewnątrz części twarzowej sprzętu [7]. Jako aerozol testowy stosowano ftalan dioktylu, a do analizy stężenia aerozolu testowego wykorzystywano fotometr. W celu realizacji tych badań skonstruowano komorę zaopatrzoną w urządzenia nawiewne, umieszczone powyżej wlotu aerozolu. Wentylatory powodują turbulentyne mieszanie aerozolu, a jego stężenie jest monitorowane w sposób ciągły. Natężenie przepływu powietrza przez fotometr wynosi 0,02 dm<sup>3</sup>/s, stężenie aerozolu jest utrzymywane na poziomie 25 mg/m<sup>3</sup>. Średnica aerodynamiczna cząstek aerozolu 0,6 mm. Uczestników badań wybiera się na podstawie testów antropometrycznych. Każdy z 10 uczestników badań wchodzi do komory i wykonuje serię ćwiczeń.

Opisana metoda jest w założeniach podobna do standardowej metody aerozolu chlorku sodu, zalecanej w normach UE do oceny nominalnego wskaźnika ochrony [8]. Nie uwzględnia ona jednak warunków użytkowania sprzętu, takich chociażby, jak różne warunki klimatyczne.

Dążąc do przybliżenia warunków badań wskaźnika ochrony do przewidywanych warunków użytkowania sprzętu, podjęto badania w warunkach symulacji silnego dodatkowego nadmuchu powietrza zewnętrznego [9]. Efekt prędkości powietrza, w połączeniu ze zmianą pozycji sprzętu podczas użytkowania, realizowano w kanale, w strumieniu nawiewanego powietrza. Wewnątrz kanału umieszczano manekin wraz ze sprzętem ochrony układu oddechowego. Podczas badań stosowano aerozol testowy symulujący pył respirabilny o wymiarach cząstek mniejszych niż 10 mm. Próbkę powietrza analizowano za pomocą pięciu sond rozmieszczonych na sprzęcie w taki sposób, aby dwie z nich znajdowały się wewnątrz i trzy na zewnątrz ochrony twarzy. Podczas badań, przefiltrowane powietrze dostarczano do części twarzowej tak jak podczas rzeczywistego użytkowania, a następnie przez 4 giętkie przewody uchodziło ono na zewnątrz kanału. Sy-

mulację oddychania realizowano za pomocą sztucznych płuc. Podczas badań zmieniano także położenie głowy manekina, w czterech różnych położeniach w stosunku do kierunku nawiewanego powietrza: na wprost, pod kątem 45°, 90° i 135°.

W rezultacie badań wykazano, że działania powietrza o narastającej prędkości oraz pozycja głowy, inna niż „na wprost” strumienia powietrza, powodowały obniżenie współczynnika ochrony sprzętu w stosunku do jego nominalnej wartości. Badania te potwierdzają raz jeszcze, jak ważne jest odniesienie badań laboratoryjnych do spodziewanych warunków użytkowania.

Pomimo prowadzenia licznych prac w obszarze badań nad wskaźnikiem ochrony, **dotychczas nie udało się opracować jednolitej, akceptowanej we wszystkich krajach europejskich metody postępowania przy ocenie tego parametru.** Z tego względu w krajach UE trwają prace nad ustaleniem metodyki badań, która umożliwi wyznaczenie wartości tych wskaźników.

\* \* \*

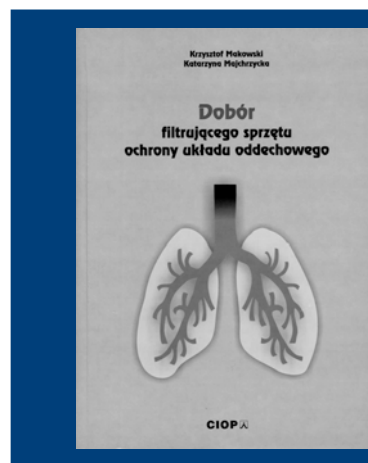
Standardowa metoda pomiaru przecieku wewnętrznego z zastosowaniem aerozolu chlorku sodu jest metodą konieczną do stosowania w procesie oceny zgodności sprzętu ochrony układu oddechowego z zasadniczymi wymaganiami bezpieczeństwa. Nie zapewnia ona jednakże wystarczających danych dla pracodawcy, niezbędnych w procesie doboru odpowiedniej skuteczności ochronnej sprzętu do spodziewanych warunków jego stosowania.

Wyznaczenie, w wyniku prac prowadzonych w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym, wartości wskaźnika ochrony

odnoszących się do wszystkich podstawowych typów środków ochrony układu oddechowego stanie się właściwym narzędziem do zapewnienia prawidłowego doboru sprzętu ochrony układu oddechowego do zagrożeń w postaci zanieczyszczeń powietrza.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] Dyrektywa Rady nr 89/656/EWG z dnia 30 listopada 1989 r. o minimalnych wymaganiach bezpieczeństwa i ochrony zdrowia dotyczących stosowania przez pracowników środków ochrony indywidualnej w miejscu pracy. Dyrektywy EWG dotyczące ochrony pracy, Tom II, Warszawa 1992
- [2] Dyrektywa Rady nr 89/686/EWG z dnia 21 grudnia 1989 r. w sprawie ujednoczenia przepisów prawnych państw członkowskich dotyczących środków ochrony indywidualnej. Official Journal of the European Communities, L399, 30.12.1989
- [3] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 11 czerwca 2002 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (DzU nr 91, poz. 811)
- [4] *Kodeks pracy – tekst ujednoczony ustawy*. Wydawnictwo TAR BONUS, Tarnobrzeg 2002
- [5] Pościk A. *Dobór środków ochrony indywidualnej*. Warszawa 2000
- [6] British Standard BS 4275:1997 Guide to implementing an effective respiratory protective device programme
- [7] Warren R., Peach J., Allender J. *Workplace Protection Factor Measurements on Powered Air-Purifying Respirators at a Secondary Lead Smelter – Test Protocol*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 45(4):236-241, 1984
- [8] Lowry P., Lloyd D., Bustos J. M. *Quantitative fit-test method for powered air-purifying respirators*. Las Alamos Scientific Laboratory Report LA-5488, Los Alamos, NM 1981
- [9] pr PN EN 13274-1 *Wyznaczanie przecieku wewnętrznego i całkowitego przecieku wewnętrznego*
- [10] Cecala A., Volkwein J., Thimons E., Urban C. *Protection Factors of the Airstream Helmet, Report of investigations*. USA, Bureau of Mines 1981



W poradniku przedstawiono analizę zagrożeń pyłowych wraz z charakterystyką pyłów i skutkami ich oddziaływania na układ oddechowy. Omówiono filtrujący sprzęt ochrony układu oddechowego i jego znakowanie. Opisano również laboratoryjne metody oceny sprzętu oraz wpływ warunków użytkowania na jego właściwości ochronne. Poradnik (55 str.) jest do nabycia w CIOP – PIB. Cena 15.-zł  
e-mail: basuc@ciop.pl