



Problemy dopasowania filtracyjnej maski przeciwgazowej w czasie długotrwałego użytkowania

DOROTA KAMIONEK¹, WŁADYSŁAW HARMATA

¹ Wojskowy Instytut Chemii i Radiometrii, al. gen. Antoniego Chruściela „Montera” 105,
00-910 Warszawa, d.kamionek@wichir.waw.pl
Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii,
ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, wladyslaw.harmata@wat.edu.pl

Streszczenie. W pracy scharakteryzowano problem dopasowania masek filtracyjnych będących elementem indywidualnych środków ochrony przed skażeniami. Poddano analizie metodę dopasowania masek stosowaną w SZ RP z użyciem drażniących substancji chemicznych takich jak chloropikryna i CS. Przedstawiono wyniki badań dopasowania współczesnych masek filtracyjnych z wykorzystaniem metody optoelektronicznej w czasie długotrwałego użytkowania. Przeanalizowano je i porównano z wynikami badań metody referencyjnej — całkowitego przecieku wewnętrznego.

Słowa kluczowe: obrona przed bronią masowego rażenia, środki ochrony indywidualnej, dopasowanie masek filtracyjnych

DOI: 10.5604/01.3001.0014.2811

Wstęp

Wielowymiarowość współczesnych zagrożeń sprawia, że w literaturze można znaleźć wiele kryteriów, według których autorzy starają się je usystematyzować (np. kryteria podmiotowe, przedmiotowe, zasięgu, skali). Najczęściej stosowane jest kryterium podmiotowe, które pozwala wyróżnić pięć rodzajów zagrożeń: polityczne, militarne, gospodarcze, społeczne (społeczno-kulturowe) i ekologiczne [1].

Niebezpieczeństwo uwolnienia substancji niebezpiecznych (np. toksycznych środków przemysłowych - TSP) oraz skażenie atmosfery i terenu może nastąpić nie tylko podczas procesów produkcji oraz magazynowania, lecz także w trakcie ich transportu. Wypadki i katastrofy komunikacyjne stanowią największy odsetek

wydarzeń, w wyniku których dochodzi do skażenia środowiska substancją niebezpieczną. Największe zagrożenie stanowi uwolnienie transportowanej substancji niebezpiecznej na obszarze miejskim. Ze względu na duże zaludnienie może być ono bardzo groźne w skutkach, przynosząc wysoką liczbę ofiar oraz skażenie środowiska.

Zmora współczesnych czasów są skażenia atmosfery pyłami zawieszonymi, które wchodzi w skład smogu. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) uznała Rzeczpospolitą Polską (RP) za jeden z dwóch najbardziej zanieczyszczonych krajów Unii Europejskiej [2]. Pulmonolog prof. Tadeusz Zielonka na podstawie danych uzyskanych z WHO stwierdził, że z powodu zanieczyszczeń powietrza na świecie umiera 7 mln osób rocznie [3]. Pył PM_{2,5} przyczynia się rocznie do 470 tys. zgonów w Unii Europejskiej, z czego ok. 10 proc. (48 tys.), a z pyłami innymi niż PM_{2,5} — ponad 50 tys.) ma miejsce w RP. Dla porównania, na nowotwory w Polsce umiera ok. 100 tys. osób rocznie. „Smog zabija” — zaznaczył lekarz i przywołał dane GUS, zgodnie z którymi w styczniu 2017 r. zmarło 41 tys. Polaków — to o ok. 11 tys. więcej niż w ostatnich 20 latach, kiedy to liczba zgonów w styczniu wahała się od 30 do 32 tys. [3]. Na pytanie, jak chronić się przed smogiem, lekarz odpowiada, że nie ma jednej recepty i konieczne jest podejście kompleksowe: zadania ma tu do spełnienia zarówno rząd, jak i samorządy. Ważne są też — wymieniał profesor — edukacja, świadomość społeczna, kwestia respektowania przepisów przez ludzi. Doraźnie przed smogiem chronią maski, jednak i nie każdy model będzie dobrze spełniał swoją funkcję. — Masek nie powinniśmy zamawiać przez Internet, ponieważ muszą być dobrze dopasowane i szczelne. Maski nie są dla mężczyzn z zarostem — przestrzegali lekarz. Jak zaznaczył, filtry w maskach muszą być i pyłowe, i gazowe [3].

Podstawy ochrony żołnierzy SZ RP przed czynnikami rażenia BMR i oddziaływaniami środowiskowymi, głównie TSP, zawarto w doktrynalnym dokumencie wojsk chemicznych, a mianowicie *Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD/3.8(A)* [4].

W p. 3.4 dokumentu stwierdzono: „ochrona przed skażeniami to przedsięwzięcie polegające na maksymalnym wykorzystaniu cech użytkowych indywidualnych i zbiorowych środków ochrony przed skażeniami oraz właściwości ochronnych sprzętu bojowego, obiektów inżynierskich i terenu. **Ochrona przed skażeniami ma na celu zwiększenie zdolności wojsk do przetrwania.** Dowódca operacyjny/dowódca sił połączonych powinien uwzględnić wrażliwość podległych wojsk na zagrożenia CBRN z ograniczeniami wynikającymi z zastosowania środków ochrony przed skażeniami w czasie prowadzenia operacji. Ochronę przed skażeniami dzieli się na:

- 1) **indywidualną ochronę przed skażeniami** — to działalność polegająca na wyposażeniu każdego żołnierza w filtracyjną maskę przeciwgazową oraz izolacyjne lub filtracyjne środki ochrony skóry, celem zapewnienia mu bezpieczeństwa podczas realizacji zadań w warunkach zagrożenia skażeniami lub skażeń;
- 2) **zbiorową ochronę przed skażeniami** — działalność polegająca na zapewnieniu stanom osobowym takiej ochrony w warunkach skażeń, która zapewni możliwość przebywania i realizacji zadań bez ISOPS.

Indywidualne środki ochrony przed skażeniami (ISOPS) obejmują:

- a) sprzęt dozymetryczny,
- b) filtracyjną maskę przeciwgazową i odzież ochronną,
- c) środki do udzielania pierwszej pomocy,
- d) indywidualne pakiety do likwidacji skażeń [4].

Zapisy dokumentu DD/3.8(A) są jednoznaczne, a w ramach tej pracy przedstawiono problemy dopasowania filtracyjnej maski przeciwgazowej w czasie długotrwałego użytkowania.

1. Zagrożenia skażeniami

Zagrożenia skażeniami chemicznymi są bardzo często lekceważone. Jednak wydarzenia takie jak wykorzystanie sarinu w Japonii przez terrorystów z Najwyższej Prawdy wskazują na to, że w dzisiejszych czasach każdy może wyprodukować taką substancję oraz użyć ją w każdej sytuacji.

Mimo tego, że władze i społeczeństwo są świadome zagrożenia bronią chemiczną, należy liczyć się z tym, że w przypadku obiektu nieprzygotowanego na atak może dojść do ogromnych strat. Coraz większe uprzemysłowienie, rozwój technologii i szersze wykorzystanie materiałów nuklearnych, biologicznych i chemicznych zwiększa niebezpieczeństwo uwolnienia się do środowiska toksycznych środków przemysłowych [5]. Oto kilka przykładów:

1. W Japonii do zatoki Minamata z fabryki aldehydu octowego koncernu Chisso odprowadzono ścieki zawierające związki rtęci o niskim stężeniu. W miarę upływu czasu dochodziło do gromadzenia się rtęci w planktonie i rybach w postaci związków alkilowych. Jako że ryby to podstawowy składnik diety tamtejszej ludności, doszło do zatrucia. Ludzie wykazywali syndromy choroby Minamata (zaburzenia wzroku, koordynacji ruchowej, upośledzenie umysłowe, a nawet śmierć). W sumie do roku 2001 oficjalnie rozpoznano 2265 przypadków (z czego 1784 zmarło) [6].
2. W nocy z 2 na 3 grudnia 1984 roku w miejscowości Bhopal z fabryki pestycydów i środków owadobójczych amerykańskiego koncernu Union Carbide uwolniło się ponad 30 ton par śmiertelnie trującego izocyjanianu metylu. Gaz uformował śmiertelnie trującą chmurę, która nie spowodowała zanieczyszczeń środowiska, lecz znacznie wpłynęła na zdrowie i życie ludności. Zmarło 6300 osób, a 250 tys. zostało zatrutych. Z miejsca zdarzenia ewakuowano 200 000 ludzi [7].
3. 10 lipca 1976 roku w Seveso we Włoszech w zakładach ICMESA, w których produkowano 2,3,5-trichlorofenol (TCP), w wyłączonym reaktorze nastąpiła nieoczekiwana reakcja egzotermiczna, której towarzyszył gwałtowny wzrost temperatury i ciśnienia, doszło do otworzenia się zaworu bezpieczeństwa i uwolnienia około dwóch ton substancji chemicznych, w tym około dwóch

kilogramów 2,3,7,8-tetrachlorodibenzoparadioksyny (TCDD). Skażeniu uległo 1500 ha obszaru, ewakuowano ok. 700 mieszkańców i ok. 700 osób zostało zatrutych. Zginęło wiele zwierząt, bardzo duży obszar został skażony i wykluczony na wiele lat z działalności gospodarczej [8].

4. 26 kwietnia 1986 wydarzyła się największa katastrofa w dziejach energetyki jądrowej w elektrowni jądrowej w Czarnobylu. Wybuch w betonowej komorze reaktora doprowadził do zrzucenia ważącej ponad 2000 t betonowej pokrywy o grubości ok. 6 m, przykrywającej z góry rdzeń reaktora, wskutek czego do atmosfery przedostały się materiały promieniotwórcze w formie aerozolu: jod I-131, cez Cs-134, a obszar o powierzchni 10 000 km² (głównie Ukraina, Rosja, Białoruś) uległ skażeniu do poziomu 550-1500 kBq/m². Według danych Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w Wiedniu przyjmuje się, że do końca 2004 r. wskutek awarii w Czarnobylu śmierć poniosło 56 osób, z czego 9 dzieci z powodu raka tarczycy, ewakuowano ok. 116 000 osób [9, 10].
 5. Syria — wojna domowa. Światowe media doniosły, że w Syrii został użyty jeden z gazów bojowych — sarin. Wojsko wykorzystało go w ataku na jedno z miast w okolicy Damaszku. Szacuje się, że liczba ofiar to około 1300 osób. Inspektorzy z ONZ potwierdzili, że są „klarowne dowody” na użycie sarinu podczas sierpniowego ataku. Zaznaczyli, że pobrane próbki jednoznacznie wskazują na użycie w ataku pocisków rakietowych ziemia-ziemia zawierających sarin [11].
 6. Najbardziej znanym i niebezpiecznym przykładem użycia trującego środka chemicznego był atak terrorystyczny w tokijskim metrze 20 marca 1995 roku. Członkowie japońskiej sekty Aum Shinrikyo (Najwyższa Prawda) użyli wówczas środka z grupy związków fosforoorganicznych. W metrze z przedziurawionych torebek rozpylono sarin. Efektem tego zamachu była **śmierć 12 osób, 54 osoby poważnie porażone, a ponad 5 tysięcy** porażonych, w tym 135 osób z personelu medycznego. Po latach wiele osób cierpi na schorzenia związane z działaniem sarinu (m.in. depresja, trudności z oddychaniem czy uszkodzenia mózgu) [12, 13].
- Możliwości wykorzystania trujących środków chemicznych należy rozpatrywać przez pryzmat ich dostępności. Głównie chodzi o ich zakup, kradzież lub wyprodukowanie. Produkcja bojowych środków trujących wymaga specjalistycznej technologii, odpowiedniej aparatury, wiedzy i zastosowania właściwej metody syntezy. Niektóre BST można syntetyzować z odczynników, które są ogólnie dostępne. Część środków chemicznych, potrzebnych do skonstruowania broni chemicznej, jest dostępna w handlu, może być wykradziona z zakładów przemysłowych lub z zasobów państwowych. Dla terrorystów miejscem pozyskania broni chemicznej mogą być znaleziska z czasów II wojny światowej.

W tabeli 1 znajdują się podstawowe dane toksykologiczne wybranych BST [14]. Z przedstawionych w tabeli wielkości dawek wynika, że drogi oddechowe muszą być zabezpieczone bardzo skutecznymi i dobrze dopasowanymi środkami ochrony.

TABELA 1

Charakterystyka toksykologiczna współczesnych BST

BST	Klasyfikacja toksykologiczna	Toksyčność na człowieka				
		inhalacja			naskórna	dożoładkowa
		LCt ₅₀	ICt ₅₀	PCt ₅₀	LD ₅₀	LD ₅₀
		[mg min/dm ³]			[mg/kg]	[mg/kg]
Sarin	n-p	0,15	0,055	0,001	2,4	0,14
Soman	n-p	0,05	0,025	0,0002	1,4	0,14
VX	n-p	0,02	0,005	0,0001	0,09	0,07
Saksitoksyna	n-p	0,002	-	-	-	0,005
XR toksyna botulinowa	n-p	0,0002	-	-	-	0,001
Iperyt siarkowy	s-p	1,5	0,2	0,025	70	0,7
CS	d-o	25	0,001	0,0001	-	-
BZ	o	200	0,11	0,05	-	-
Ornage	r	-	-	-	-	500
Whit	r	-	-	-	-	2000
Blue	r	-	-	-	-	70

n-p — nerwowo-paralityczne; d-o — drażniąco-obezwładniające; o — obezwładniające;
r — roślinobójcze; s-p — skórno-parzące; LCt₅₀, LD₅₀ — stężenie śmiertelne;
ICt₅₀ — stężenie napastliwe; PCt₅₀ — stężenie progowe

2. Maski przeciwgazowe

Środki toksyczne mogą przenikać do organizmu człowieka różnymi drogami, najczęściej są to: drogi oddechowe, pokarmowe i skóra. Jednak najbardziej zagrożony jest układ oddechowy. U osoby dorosłej powierzchnia wymiany gazowej wynosi od 75 do 100 m² i jest to najcieńsza membrana, przez którą gazy przenikają do krwiobiegu. W takiej sytuacji ochrona dróg oddechowych jest szczególnie ważna. W konstrukcji współczesnych masek przywiązuje się ogromną wagę do ich anatomicznej budowy, aby dopasowywała się ona do kształtu niemal każdej twarzy oraz nie powodowała ucisków i negatywnych następstw z nimi związanych. Udało się to dzięki włączeniu do projektowania masek antropologów. Ich zadaniem jest opracowanie, na podstawie masowych pomiarów antropometrycznych, rozkładów cech wymiarowych głowy w populacji potencjalnych użytkowników maski. Na bazie tych rozkładów projektuje się fantomy dla tej populacji, w liczbie ściśle odpowiadającej projektowanej liczbie rozmiarów części twarzowej.



Rys. 1. Przykłady współczesnych filtracyjnych masek przeciwwgazowych: a) amerykańska M-40 [16], b) kanadyjska C-4 [17], c) amerykańska MCU-2/P — siły morskie i lotnicze [16], d) fińska maska Scott Health & Safety M 95 NBC [18], e) brytyjska S-10 [19], f) polska MP-6 [20], g) M-53 [21], h) brytyjska GSR [22], i) amerykańska maska M50 [23]

Analiza informacji dotyczących masek przeciwgazowych opracowywanych i produkowanych w krajach rozwiniętych technicznie pozwala wyodrębnić pewne trendy i tendencje dotyczące masek przeciwgazowych. Można je przedstawić w następujący sposób:

- stosuje się techniki pozwalające na zbliżanie szybek wizjera do oczu użytkownika, co poprawia pole widzenia i ułatwia obsługę przyrządów optycznych;
- stosuje się części twarzowe anatomiczne. Wpływa to na przyleganie maski do twarzy użytkownika, zmniejsza uciski oraz zwiększa skuteczność ochrony;
- powszechnie stosowane są dodatkowe uszczelnienia na powierzchni przylegania maski do twarzy. Wykonuje się je w postaci „kołnierza” zawiniętego do wnętrza maski lub oponki przymocowanej na powierzchni przylegania. Kołnierz jest wklęsły, usztywniony bądź elastyczny. Dodatkowe uszczelnienia zmniejszają uciski oraz poprawiają właściwości ochronne. Korzystniejsze jednak jest stosowanie elastycznych uszczelnień;
- powszechnie stosuje się w maskach wkładki foniczne, poprawiające transmisję głosu. Wkładki takie mają wszystkie współczesne maski przeciwgazowe;
- pory oddychania w masce uniemożliwiają wykonywanie ciężkich prac fizycznych, a co dopiero działanie w warunkach bojowych. Zmniejszenie oporu wydechu uzyskuje się poprzez zwiększenie średnicy płątka oraz zaworu wydechowego, jednak nadmierne zwiększenie średnicy płątka może spowodować poważne zakłócenia w pracy zaworu i wzrost przecieku wewnętrznego. Na wielkość oporów może wpłynąć konstrukcja filtropochłaniacza. Maski z dwoma filtropochłaniaczami posiadają mniejsze opory wdechu, gdyż możliwa jest ich jednoczesna, równoległa praca. W masce możliwa jest wymiana filtropochłaniaczy bez wstrzymywania oddechu [15].

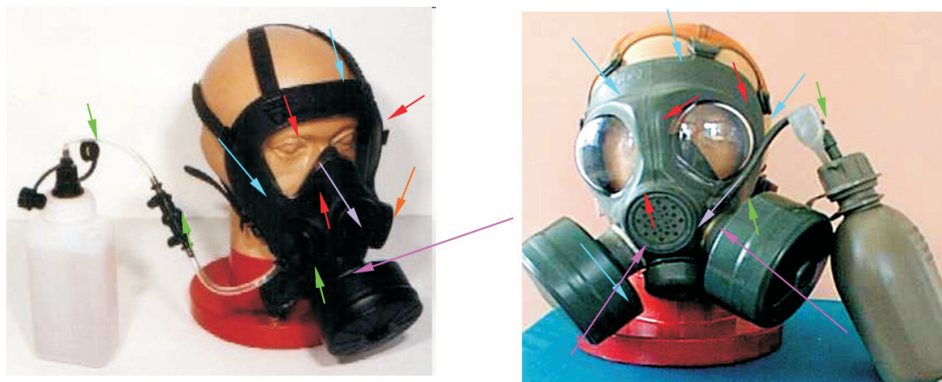
Na rysunku 1 przedstawiono przykłady współczesnych filtracyjnych masek przeciwgazowych.

3. Całkowity przeciek wewnętrzny maski i półmaski

Przy ustalaniu wymagań dotyczących właściwości ochronnych filtracyjnych masek przeciwgazowych trzeba wziąć pod uwagę współzależność parametrów, które określają niezbędny stopień ochrony dróg oddechowych przed substancjami chemicznymi, promieniotwórczymi oraz biologicznymi.

Trzeba pamiętać, że jeśli zawiżone zostaną wymagania w stosunku do właściwości ochronnych maski, może to doprowadzić do pogorszenia właściwości eksploatacyjnych. Wynika z tego, że wobec maski przeciwgazowej nie mogą być stawiane wymagania ochrony absolutnej, a jedynie względnej, tzn. takiej ochrony, która zabezpieczałaby obniżenie dawek do poziomów dopuszczalnych dla człowieka.

Aerozole mogą przenikać przez filtropochłaniacz, ale głównie mogą być zassane przez nieszczelności części twarzowej oraz jej połączeń między elementami składowymi — rys. 2 [24].



Rys. 2. Hipotetyczne punkty przenikania przez elementy składowe współczesnych filtracyjnych masek przeciwgazowych

Podczas wdechu skażone powietrze może przenikać do przestrzeni szkodliwej następującymi drogami:

- 1) przez nieszczelności powstałe w wyniku złego przylegania części twarzowej do twarzy w pasie uszczelniania (złe dopasowanie maski), przechodzącym przez czoło, skronie, podbródek —
- 2) przez nieszczelności powstające w wyniku opóźnienia zamykania się zaworu wydechowego przy przejściu z fazy wydechu do fazy wdechu; —
- 3) przez nieszczelności w miejscach połączeń poszczególnych części maski:
 - z filtropochłaniaczem —
 - z komorą foniczną —
 - z urządzeniem do picia - UPP —
 - z węzłem okularowym —

Podczas wdechu pod maską powstaje podciśnienie, powietrze zewnętrzne napływa do przestrzeni pod maską przez filtropochłaniacz, a także przez nieszczelności. Ilość tego powietrza zwiększa się wraz ze wzrostem podciśnienia pod maską. Podczas wydechu zaś powietrze jest usuwane i powstaje nadciśnienie.

Wymagania normy PN-EN-136:2001 są następujące: „Średnia wartość przecieku wewnętrznego substancji testowej we wdychanym powietrzu nie powinna przekraczać 0,05% dla żadnego z dziesięciu uczestników badań w jakimkolwiek ćwiczeniu” [25].

W normie obronnej NO-42-A214:2017 zapisano: „całkowity przeciek wewnętrzny maski przeciwgazowej względem zanieczyszczenia testowego powinien być mniejszy niż 0,01%” [26].

Największym niebezpieczeństwem, jakie stwarza zassanie, jest przenikanie skażonego powietrza przez zawór wydechowy. Zassanie przez inne ewentualne nieszczelności niektórych części maski może być stosunkowo łatwo zmniejszone, a często praktycznie wykluczone.

Zawór wydechowy zamyka się i otwiera pod wpływem zmian ciśnienia w przestrzeni pod maską, w związku z tym zawsze wystąpi pewne opóźnienie w otwieraniu i zamykaniu zaworu. Niestety przez to istnieje prawdopodobieństwo przeniknięcia skażonego powietrza w objętość pod maską.

4. Analiza metod dopasowania

Jak wspomniano w powyższych rozważaniach, w SZ RP brakuje jednoznacznych wymagań dotyczących metod dopasowania ISOPS. W normach zawarte są informacje odnośnie do badań laboratoryjnych szczelności masek (dopasowania). Wymagają one specjalistycznej aparatury i odpowiednio wyszkolonego personelu, co powoduje, że nie mogą być wykorzystane bezpośrednio np. w siłach zbrojnych.

W normie PN-EN 136:2001 [25] zawarto następujące wymagania:

- **szczelność** — przeciek maski nie powinien powodować przekroczenia zmiany ciśnienia o 1 mbar w ciągu 1 min podczas badania przy podciśnieniu wynoszącym 10 mbar;
- **przeciek wewnętrzny** — maska powinna być dopasowana do kształtów twarzy. Średnia wartość przecieku wewnętrznego substancji testowej we wdychanym powietrzu nie powinna przekraczać 0,05% dla żadnego z dziesięciu uczestników badań w jakimkolwiek ćwiczeniu.

W normie obronnej NO-42-A214:2017 [26] zawarto następujące wymagania:

- **dopasowalność części twarzowej** — asortyment rozmiarowy części twarzowej maski przeciwgazowej powinien zapewnić dopasowanie dla 98% potencjalnych użytkowników z populacji polskiej, przy liczbie rozmiarów nie większej niż 4. Współczynnik dopasowania maski przeciwgazowej (FIT FACTOR) nie powinien wynosić mniej niż 10 000;
- **czas nałożenia maski** — zmiana położenia maski przeciwgazowej z marszowego w bojowe (czas nałożenia maski) powinna odbywać się w czasie krótszym niż 9 s. W przypadku gdy maska przeciwgazowa wyposażona jest w kaptur ochronny, łączny czas nałożenia maski i kaptura nie powinien przekraczać 15 s;
- **możliwość długotrwałego przebywania w masce przeciwgazowej** — maska przeciwgazowa powinna umożliwiać użytkownikowi nieprzerwane przebywanie w niej przez 24 godz., przy czym okres nieprzerwanego noszenia powinien obejmować intensywną pracę fizyczną (od 4 do 5 godz.), pobieranie plynów za pośrednictwem UPP oraz około 6 godz. snu;

- **szczerłość statyczna** — sumaryczny przeciek do wnętrza maski przeciwgazowej nie powinien powodować zmiany ciśnienia o więcej niż 0,5 mbar w ciągu 1 min podczas badania z podciśnieniem pod maską wynoszącym 10 mbar;
- **szczerłość statyczna maski przeciwgazowej z podłączonym UPP** — maska przeciwgazowa z podłączonym UPP (w stanie gotowości do pobierania płynów) powinna zachować szczerłość statyczną;
- **całkowity przeciek wewnętrzny** — całkowity przeciek wewnętrzny maski przeciwgazowej względem zanieczyszczenia testowego powinien być mniejszy niż 0,01%.

W normie NO-42-A506/A1:2013 opisano badanie szczerłości nałożenia ISOPS w warunkach dynamicznych z użyciem chloru [27]. Metoda umożliwia sprawdzenie konstrukcji maski przeciwgazowej pod względem współpracy z innymi elementami środków ochrony indywidualnej (np. odzież ochronna), w tym w zakresie zapewnienia w czasie użytkowania trwałej szczerłości w miejscach połączeń maski z odzieżą i kapturem bez stosowania dodatkowych elementów uszczelniających typu opaski lub taśma. Obecnie to jedyna metoda do kompleksowego sprawdzenia szczerłości ISOPS, ale ze względu na czynnik sprawdzający, jakim jest chlor (stężenie chloru w komorze ok. 50 mg/m^3 — NDSCh $1,5 \text{ mg/m}^3$), stosowana jest tylko jako metoda laboratoryjna.

W SZ RP tzw. dopasowanie indywidualne i masowe masek realizuje się tzw. metodą chemiczną (substancja testowa: chloropikryna lub CS).

Środkiem testującym wykorzystywanym do skażenia powietrza w komorze typu klosz (w namiotach UST-41/Ch i NS-64) podczas sprawdzania masek jest chloropikryna. Z karty charakterystyki tej substancji niebezpiecznej, opracowanej przez Centralny Instytut Ochrony Pracy, można uzyskać informacje toksykologiczne chloropikryny — działanie toksyczne i inne szkodliwe działanie biologiczne na ustrój człowieka: **substancja bardzo toksyczna, silnie drażniąca** — rys. 3 [28, 29].

Współczynnik dopasowania maski FIT FACTOR z wykorzystaniem chloropikryny szacowany jest na **1000**, przy wymaganiu w NO-42-A214:2017 - 10 000 [30].

Drugą metodą dopasowania masek wykorzystywaną w SZ RP jest metoda z CS (2-[(2-chlorofenyl)metylideno]propanodinitryl) w komorach KG-12 — rys. 4 [31, 32]. Odparowanie CS w stężeniach rzędu $0,001 \text{ mg/dm}^3$ wywołuje silne podrażnienie górnych dróg oddechowych i oczu, przy czym stężenie $0,005 \text{ mg/dm}^3$ uważa się za granicę wytrzymałości. Stężenie śmiertelne CS wynosi 25 mg/dm^3 . Objawy podrażnienia (zatrucia) rozwijają się po bardzo krótkim okresie utajenia wynoszącym, w zależności od stężenia CS, od kilkunastu sekund do kilku minut, wywołując pieczenie, łzawienie, bóle w nosogardzieli, kichanie, kaszel, obfity wyciek z nosa, ślinotok, nudności i wymioty. Towarzyszą temu bóle głowy i zębów, bóle w uszach, za mostkiem i niekiedy bóle żołądka. W lekkich zatruciach objawy podrażnienia nasilają się w czasie kilkunastu minut po nałożeniu maski przeciwgazowej lub wyjściu z atmosfery skażonej. Po upływie 1-3 godzin objawy zaczynają ustępować [33].



Rys. 3. Dopasowywanie masek w komorze typu klosz



Rys. 4. Dopasowywanie masek w komorze KG-12

Współczynnik dopasowania maski FIT FACTOR z wykorzystaniem CS szacowany jest na **3000**, przy wymaganym w NO-42-A214:2017 - 10 000 [30].

W armiach NATO oraz w krajowych laboratoriach zakładowych i badawczych dopasowanie filtracyjnych masek przeciwgazowych realizowane jest metodą optoelektroniczną (detektor z diodą laserową) z wykorzystaniem urządzeń PortaCount. Przyrząd ten określa stosunek zapylenia powietrza na zewnątrz i wewnątrz maski (założonej na głowę użytkownika) i podaje tę wartość jako tzw. współczynnik dopasowania (Fit Factor). Pomiar wykonywany jest przez zliczanie cząstek w gazie pobranym na zewnątrz i wewnątrz maski (specjalny zawór zmienia drogę poboru próbki gazu). Przykładowo współczynnik dopasowania wynoszący 10 000 jednostek oznacza, że w objętości pod maską zarejestrowano 1 cząsteczkę aerozolu atmosferycznego w stosunku do 10 000 cząsteczek aerozolu (pyłu) w powietrzu na zewnątrz maski — rys. 5 [34].



Rys. 5. Dopasowanie masek za pomocą przyrządów PortaCount [21]

W SZ RP dopasowanie masek przeprowadza się tzw. metodą chemiczną z wykorzystaniem jako środka testowego chloropikryny lub CS. Z przeprowadzonych badań wynika, że użycie substancji wysoce drażniących w rozumieniu NO-42-A214:2017 nie zapewnia właściwego sprawdzenia stopnia dopasowania maski. Dodatkowo, co nie jest ujęte w żadnym dokumencie, ***filtr pochłaniacze po takich badaniach powinny być wymienione na nowe.***

W normie PN-EN 136:2001 przyjmuje się, że czas użytkowania maski wynosi maksymalnie 8 godzin (czas zmiany), natomiast w normie NO-42-A214:2017 czas ten określono na 24 godziny (w tym 6 godz. snu). W obu dokumentach nie ma wymagania odnośnie do sprawdzenia dopasowania w czasie lub po okresie użytkowania.

5. Badania dopasowania wytypowanych masek filtracyjnych w zależności od czasu użytkowania i innych parametrów

5.1. Metodyka badań

Badania przeprowadzono w ciągu ośmiu dni z wykorzystaniem masek MP-6 (wprowadzona do SZ RP w 2011 r.), maski MP-5 (sukcesywnie wycofywana z SZ RP) oraz maski Promask (maska cywilna). Podczas badań na wyniki miał wpływ zarost badanych zwiększający się wraz z upływem dni, pojawiający się pot, zmęczenie użytkowników oraz inne czynniki fizjologiczne.

Dopasowanie masek z użyciem chloropikryny realizowano zgodnie z metodyką zawartą w instrukcji OPChem. 361/89 *Sprawdzenie szczelności i dopasowania masek przeciwgazowych* [35].

Przed badaniami całkowitego przecieku wewnętrzznego dopasowano uczestnikom maski metodą optoelektroniczną. Przyrząd PortaCount Pro, wykorzystany w badaniu, umożliwia sprawdzenie dopasowania maski przeciwgazowej, porównując stężenie cząstek otoczenia do stężenia cząstek pod maską. Stosunek tych dwóch stężeń nazywany jest **współczynnikiem dopasowania** (Fit Factor).

Metoda referencyjna, polegająca na określeniu całkowitego przecieku wewnętrznego, była prowadzona dla różnych ćwiczeń znajdujących się w normie PN-EN 13274-1:2004 wg akredytowanej procedury badawczej WICHiR [36].

Wyniki dopasowania masek przeciwgazowych z użyciem chloropikryny

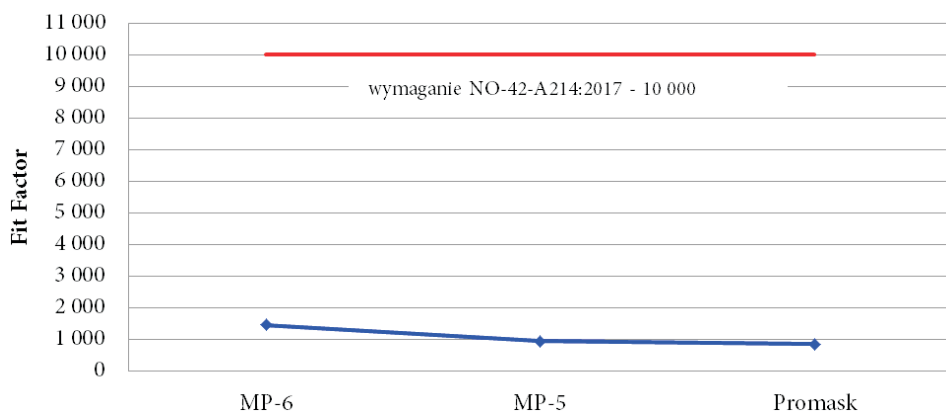
Założono, że wszystkie badane maski przeciwgazowe są dobrze dopasowane, po sprawdzeniu ich szczelności przez użytkowników w komorze klosz. Nie wystąpiły żadne objawy przedostania się chloropikryny pod maskę.

Wszystkie wykorzystane maski przeciwgazowe sprawdzono na urządzeniu PortaCount oraz określono ich całkowity przeciek wewnętrzny. Wyniki przedstawiono w tabelach 2 i 3 i na rysunkach 6 i 7.

TABELA 2

Współczynnik dopasowania (Fit Factor)

	MP-6	MP-5	Promask
FIT FACTOR	1460	950	850

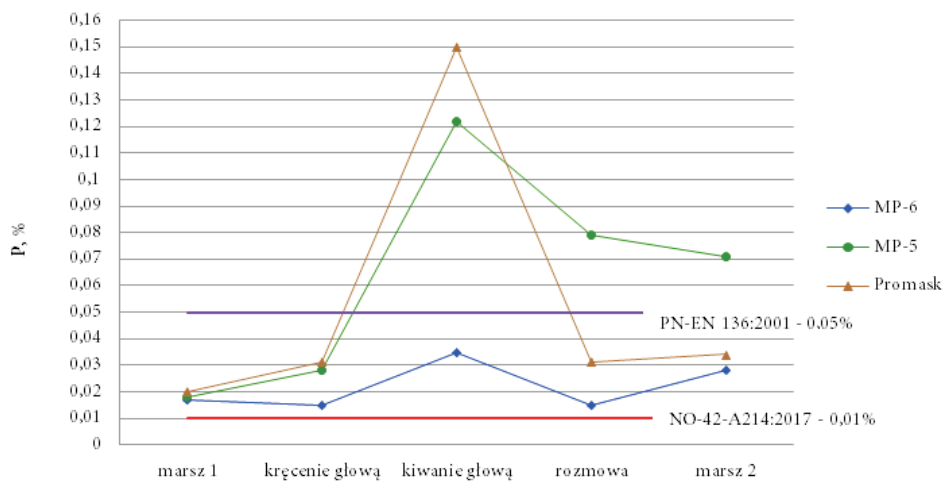


Rys. 6. Wyniki dopasowania masek uzyskane metodą optoelektroniczną

TABELA 3

Całkowity przeciek wewnętrzny wybranych masek przeciwgazowych podczas danej aktywności

czynność	MP-6	MP-5	Promask
marsz 1	0,017	0,018	0,02
kręcenie głową	0,015	0,028	0,031
kiwanie głową	0,035	0,122	0,15
rozmowa	0,015	0,079	0,031
marsz 2	0,028	0,071	0,034



Rys. 7. Wykres zależności całkowitego przecieku wewnętrznego od rodzaju aktywności

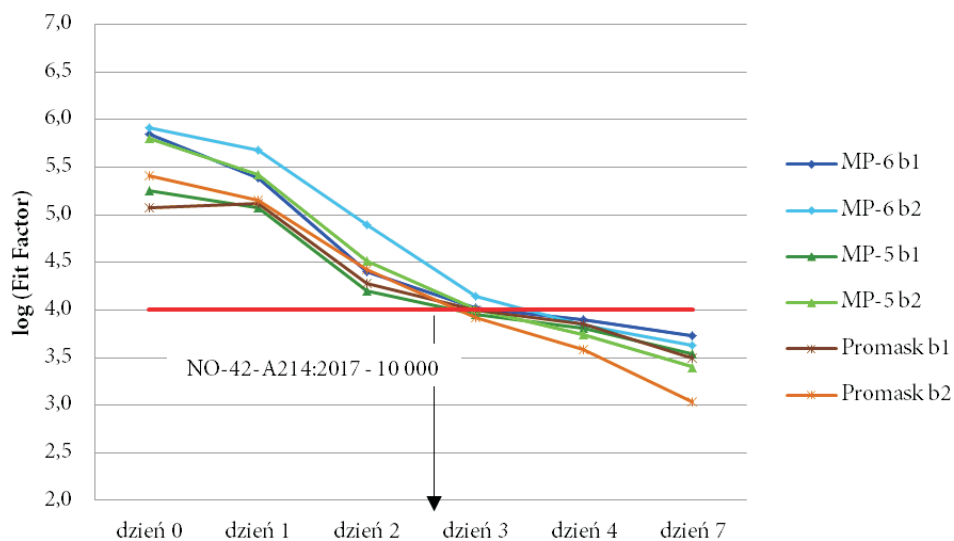
Wyniki badań dopasowania masek metodą optoelektroniczną

Wyniki badań przedstawiono w tabeli 4 i na rysunku 8.

TABELA 4

Współczynnik dopasowania maski Fit Factor

	MP-6 b1	MP-6 b2	MP-5 b1	MP-5 b2	Promask b1	Promask b2
dzień 0	696 000	825 000	180 000	634 000	120 000	260 000
dzień 1	246 000	474 000	120 000	267 000	130 000	141 000
dzień 2	25 000	78 600	16 000	32 300	19 000	26 800
dzień 3	10 500	13 900	9 000	10 200	10 000	8 300
dzień 4	7 900	6 930	6 500	5 490	7 100	3 850
dzień 7	5 400	4 280	3 500	2 510	3 100	1 091



Rys. 8. Współczynnik dopasowania Fit Factor dla badanych masek

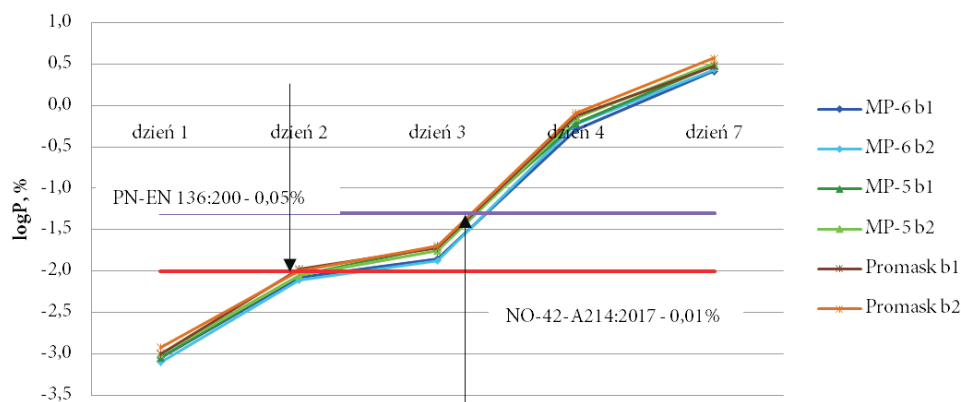
Wyniki badań dopasowania masek metodą całkowitego przecieku wewnętrznego

Wyniki badań dla ćwiczenia marsz 1 przedstawiono w tabeli 5 i na rysunku 9.

TABELA 5

Wyniki badań całkowitego przecieku wewnętrznego — marsz 1

	MP-6 b1	MP-6 b2	MP-5 b1	MP-5 b2	Promask b1	Promask b2
dzień 0	0,0003	0,0002	0,0005	0,0004	0,0005	0,0005
dzień 1	0,0009	0,0008	0,0009	0,001	0,001	0,0012
dzień 2	0,0085	0,0078	0,0089	0,0089	0,0105	0,0101
dzień 3	0,014	0,0134	0,02	0,0179	0,019	0,0203
dzień 4	0,505	0,589	0,605	0,712	0,75	0,81
dzień 7	2,605	2,725	3,105	3,21	2,98	3,73



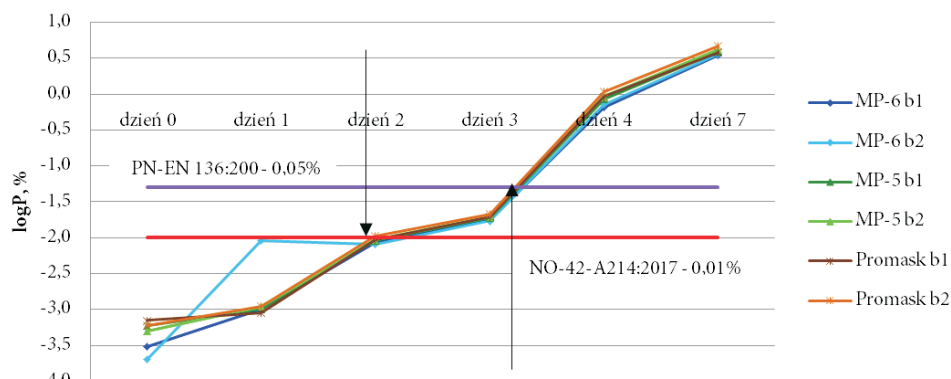
Rys. 9. Wyniki badań całkowitego przecieku wewnętrznego maski z 0-7-dniowym zarostem

Wyniki badań dla ćwiczenia kręcenie głową w prawo-lewo przedstawiono w tabeli 6 i na rysunku 10.

TABELA 6

Wyniki badań całkowitego przecieku wewnętrznego — kręcenie głową w prawo-lewo

	MP-6 b1	MP-6 b2	MP-5 b1	MP-5 b2	Promask b1	Promask b2
dzień 0	0,0003	0,0002	0,0006	0,0005	0,0007	0,0006
dzień 1	0,001	0,009	0,001	0,0011	0,0009	0,0011
dzień 2	0,0085	0,0082	0,009	0,0094	0,0095	0,0105
dzień 3	0,018	0,0171	0,019	0,0196	0,0195	0,0211
dzień 4	0,65	0,721	0,85	0,92	0,92	1,09
dzień 7	3,5	3,62	3,95	4,19	3,82	4,67



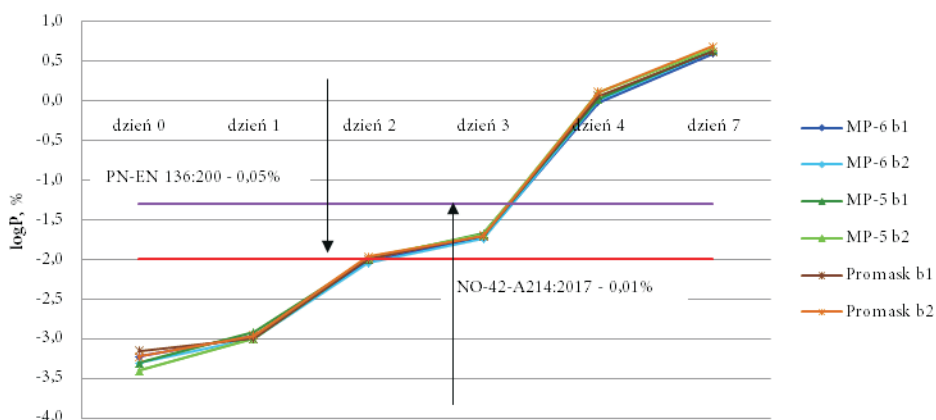
Rys. 10. Wyniki badań całkowitego przecieku wewnętrznego maski z 0-7-dniowym zarostem

Wyniki badań dla ćwiczenia kiwanie głową góra-dół przedstawiono w tabeli 7 i na rysunku 11.

TABELA 7

Wyniki badań całkowitego przecieku wewnętrznego — kiwanie głową góra-dół

	MP-6 b1	MP-6 b2	MP-5 b1	MP-5 b2	Promask b1	Promask b2
dzień 0	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,0007	0,0006
dzień 1	0,0011	0,001	0,0012	0,001	0,001	0,0011
dzień 2	0,0095	0,0091	0,01	0,0104	0,01	0,0109
dzień 3	0,019	0,0183	0,021	0,0203	0,0195	0,0201
dzień 4	0,95	1,03	1,05	1,26	1,15	1,29
dzień 7	3,95	4,21	4,31	4,57	4,15	4,81



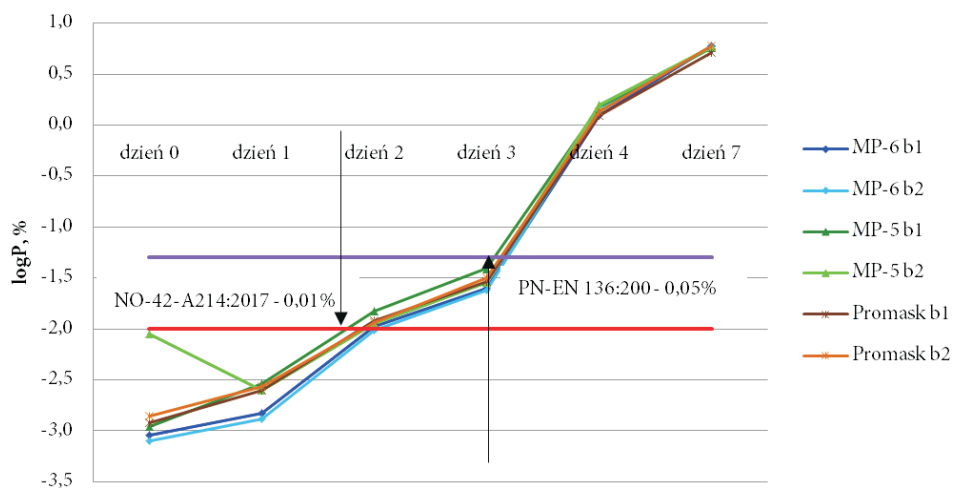
Rys. 11. Wyniki badań całkowitego przecieku wewnętrznego maski z 0-7-dniowym zarostem

Wyniki badań dla ćwiczenia recytacja przedstawiono w tabeli 8 i na rysunku 12.

TABELA 8

Wyniki badań całkowitego przecieku wewnętrznego — recytacja

	MP-6 b1	MP-6 b2	MP-5 b1	MP-5 b2	Promask b1	Promask b2
dzień 0	0,0009	0,0008	0,0011	0,009	0,0012	0,0014
dzień 1	0,0015	0,0013	0,0029	0,0025	0,0025	0,0027
dzień 2	0,0105	0,0098	0,015	0,0114	0,012	0,0116
dzień 3	0,025	0,0239	0,039	0,0288	0,029	0,0318
dzień 4	1,23	1,38	1,49	1,58	1,25	1,34
dzień 7	5,98	5,91	5,75	5,82	5,15	5,92



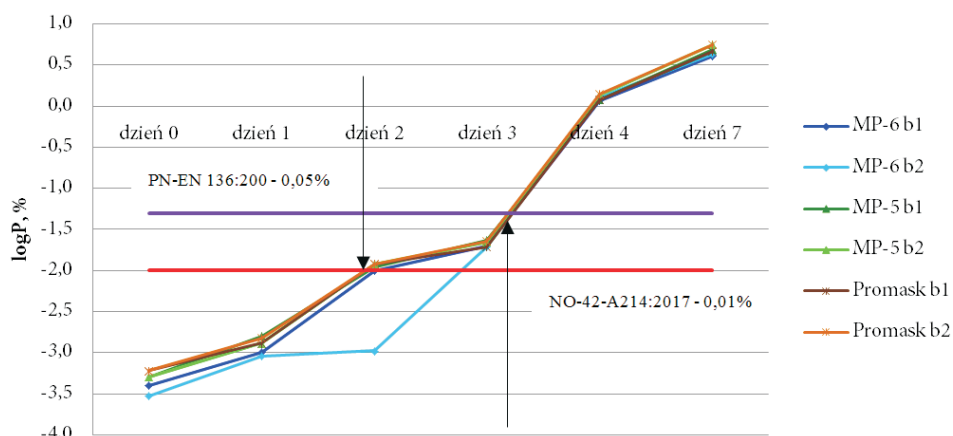
Rys. 12. Wyniki badań całkowitego przecieku wewnętrznego maski z 0-7-dniowym zarostem

Wyniki badań dla ćwiczenia marsz 2 przedstawiono w tabeli 9 i na rysunku 13.

TABELA 9

Wyniki badań całkowitego przecieku wewnętrznego — marsz 2

	MP-6 b1	MP-6 b2	MP-5 b1	MP-5 b2	Promask b1	Promask b2
dzień 0	0,0004	0,0003	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006
dzień 1	0,001	0,0009	0,0016	0,0013	0,0013	0,0015
dzień 2	0,01	0,00105	0,011	0,0119	0,012	0,0121
dzień 3	0,02	0,0194	0,023	0,0219	0,0195	0,0226
dzień 4	1,15	1,28	1,2	1,37	1,195	1,416
dzień 7	4,05	4,31	4,9	5,59	4,655	5,65



Rys. 13. Wyniki badań całkowitego przecieku wewnętrznego maski z 0-7-dniowym zarostem

Podsumowanie

Problem dopasowania masek przeciwgazowych dotyczy zarówno stanowisk pracy (pracowników), jak i służb mundurowych (żołnierzy, policjantów, strażaków), a obecnie również ogółu społeczeństwa z uwagi na zanieczyszczenia atmosfery w postaci smogu.

O ile środki ochrony dróg oddechowych stosowane na stanowiskach pracy dotyczą jednej lub kilku substancji, o tyle dla środków przewidzianych dla służb mundurowych ich ilość można co najwyżej oszacować z jakimś prawdopodobieństwem.

Jak wspomniano, w armiach NATO oraz w krajowych laboratoriach zakładowych i badawczych dopasowanie masek realizowane jest metodą optoelektroniczną (detektor z diodą laserową) z wykorzystaniem urządzeń PortaCount. Jest to metoda szybka i dająca wynik w postaci współczynnika dopasowania (Fit Factor).

W SZ RP dopasowanie masek dokonuje się tzw. metodą chemiczną z wykorzystaniem jako środka testowego chloropikryny lub CS.

Przed badaniami całkowitego przecieku wewnętrznego dopasowano uczestnikom maski metodą optoelektroniczną. Wyznaczone współczynniki Fit Factor dla wszystkich badanych masek były wielokrotnie większe od wymaganego przez normę (np. dla maski MP-6 ok. 700 000). Wymagana wartość współczynnika dopasowania utrzymywała się przez trzy kolejne dni dla maski MP-6 i przez dwa kolejne dni dla maski MP-5 i Promask.

Metoda referencyjna, polegająca na określeniu całkowitego przecieku wewnętrznego, była prowadzona dla różnych ćwiczeń określonych w normie PN-EN 13274-1:2004.

Dla ćwiczenia marsz 1 (marsz z prędkością ok. 6 km/h) uzyskano:

- spełnienie wymagań NO-42-A214:2017 ($P = 0,01\%$) przez trzy kolejne dni przez maski MP-6 i MP-5 i przez dwa kolejne dni przez maskę Promask;
- spełnienie wymagań PN-EN 136:2001 ($P = 0,05\%$) przez trzy kolejne dni przez wszystkie maski.

Dla ćwiczenia kręcenie głową w prawo-lewo uzyskano:

- spełnienie wymagań NO-42-A214:2017 ($P = 0,01\%$) przez trzy kolejne dni przez badane maski;
- spełnienie wymagań PN-EN 136:2001 ($P = 0,05\%$) przez cztery kolejne dni przez wszystkie maski.

Dla ćwiczenia kiwanie głową góra-dół uzyskano:

- spełnienie wymagań NO-42-A214:2017 ($P = 0,01\%$) przez trzy kolejne dni przez maskę MP-6 i przez dwa kolejne dni przez maski MP-5 i Promask;
- spełnienie wymagań PN-EN 136:2001 ($P = 0,05\%$) przez cztery kolejne dni przez wszystkie maski.

Dla ćwiczenia recytacja uzyskano:

- spełnienie wymagań NO-42-A214:2017 ($P = 0,01\%$) przez dwa kolejne dni przez wszystkie badane maski;
- spełnienie wymagań PN-EN 136:2001 ($P = 0,05\%$) przez cztery kolejne dni przez wszystkie maski.

Dla ćwiczenia marsz 2 uzyskano:

- spełnienie wymagań NO-42-A214:2017 ($P = 0,01\%$) przez trzy kolejne dni przez maskę MP-6 i przez dwa kolejne dni przez maski MP-5 i Promask;
- spełnienie wymagań PN-EN 136:2001 ($P = 0,05\%$) przez cztery kolejne dni przez wszystkie maski.

Kontrola dopasowania masek metodą chemiczną, powszechnie stosowaną w SZ RP, miała dać odpowiedź, czy jest ona wystarczająca do prawidłowego dopasowania.

Podczas badań stwierdzono, że wszystkie maski były dobrze dopasowane — nie stwierdzono drażniącego działania chloropikryny (łzotok, pieczenie gałek ocznych). Po przeprowadzeniu badań metodą optoelektroniczną oraz całkowitego przecieku wewnętrznego stwierdzono, że niespełnione są wymagania normy obronnej NO-42-A214:2017 odnośnie do uzyskanych współczynników dopasowania Fit Factor oraz całkowitego przecieku wewnętrznego dla wszystkich badanych masek.

Określony w NO-42-A214:2017 czas użytkowania masek (24 godz.) może być wydłużony do 48 godzin bez obserwowanego rozszczelnienia masek.

Artykuł był częściowo finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach realizacji projektu PBS 900/WAT/2019 pt. *Naukowe aspekty doskonalenia wojskowego systemu rozpoznania skażeń i przeciwdziałania zagrożeniom CBRN*.

Artykuł wpłynął do redakcji 21.01.2020. Zatwierdzono do publikacji 5.03.2020.

Władysław Harmata, <https://orcid.org/0000-0001-6271-9000>

LITERATURA

- [1] CZAPUTOWICZ J., *System czy nieład? Bezpieczeństwo europejskie u progu XXI wieku*, PWN, Warszawa 1998, s. 23.
- [2] <http://bonavita.pl/smog-przyczyny-skutki-ochrona-oraz-wplyw-na-zdrowie> [dostęp: 12.2019]
- [3] <http://twojezdrowie.rmfm24.pl/czlowiek/organy-wewnetrzne/pluca/news-wszystkie-choroby-smogu-co-powoduje-zanieczyszczenie-powietrza> [dostęp: 12.2019]
- [4] *Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD/3.8(A)*, MON, Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych, sygn. Szkol. 869/2013.
- [5] *Eurojust CBRN-E Handbook. Overview of EU and international legislation applicable to CBRN (Chemical, Biological, Radiological and Nuclear) substances and Explosives Supranational entities, systems and databases active in the field of CBRN-E*. Version VI, June 2017 Counter-Terrorism Team.
- [6] http://www.nimd.go.jp/english/kenkyu/docs/annual_report_2016.pdf [dostęp: 12.2019]
- [7] http://upieks.files.wordpress.com/2007/04/bhopal-diagram_semcosh.gif [dostęp: 12.2019]
- [8] <http://www.ptitrain.com/> [dostęp: 12.2019]
- [9] JAWOROWSKI Z., *Jak to z Czarnobylem było*, Wiedza i Życie, 5, 1996.
- [10] *Chernobyl Report-Final-240102, The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident, A Strategy for Recovery*, A Report Commissioned by UNDP and UNICEF with the support of UN-OCHA and WHO 25 January 2002.
- [11] <https://www.google.pl/search?q=Ofiary+ataku+na+przedmie%C5%9Bciach+Damaszku> [dostęp: 12.2019]
- [12] HARMATA W., *Opis ataku terrorystycznego na metro w Tokio*, wykład z przedmiotu zagrożenia ekologiczne, materiały niepublikowane, WAT, Warszawa 2009.
- [13] *CBRN. Security Manager Handbook*, Uniwersytet Łódzki, Project: “Support for European Union action in the field of CBRN security managers education”, (B), lipiec 2018.
- [14] HARMATA W. i in., *Udoskonalone środki ochrony przed bronią masowego rażenia (NBC). Ekspertyza naukowo-techniczna w zakresie wymagania długoterminowego — EG 4405. OTWL-6*, Wyd. WICHiR 837/2002.

- [15] Stanag 2352 (Edycja 5) - *Nuclear, Biological and Chemical (NBC) Defence Equipment — Operational Guidelines*.
- [16] <http://www.armystudyguide.com> [dostęp: 01.2020].
- [17] https://pl.wikipedia.org/wiki/Maska_przeciwgazowa_C-4 [dostęp: 01.2020].
- [18] materiały firmy Scott Health & Safety [dostęp: 01.2020].
- [19] <https://www.google.pl/search?q=maska+przeciwgazowa+s10> [dostęp: 12.2019].
- [20] <https://www.maskpol.com.pl/produkty/filtracyjna-mask-przeciwgazowa-mp-6.html> [dostęp: 01.2020].
- [21] HARMATA W., *Ochrona przed skażeniami. Cz. II. Rozwiązania praktyczne indywidualnych środków ochrony przed skażeniami*, WAT, Warszawa, 2014.
- [22] https://www.scottsafety.com/en/emea/DocumentandMedia1/GSR_Brochure_Polish_72dpi.pdf [dostęp: 01.2020].
- [23] Materiały firmy Avon Protection Systems Inc.
- [24] HARMATA W., *Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego. Badania całkowitego przecieku wewnętrznego masek*, WAT, Warszawa, 2014.
- [25] PN-EN 136:2001 *Sprzęt ochrony układu oddechowego — Maski — Wymagania, badania, znakowanie*.
- [26] NO-42-A214:2017 *Sprzęt ochrony układu oddechowego — Maski przeciwgazowe - Wymagania i badania*.
- [27] NO-42-A506/A1:2013 *Środki indywidualnej ochrony skóry człowieka — Metoda badania szczelności w warunkach dynamicznych, z użyciem chloru*.
- [28] Trichloronitrometan, <https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl> [dostęp: 01.2020].
- [29] http://10blog.wp.mil.pl/pl/1_47.html [dostęp: 01.2020].
- [30] HARMATA W. i in., *Sprawozdanie z badań kwalifikacyjnych partii prototypowej filtracyjnej maski przeciwgazowej MP-6 opracowanej w ramach pracy badawczo-rozwojowej pt. „Filtracyjna maska przeciwgazowa MP-6” kryptonim „APOLLO”*, Wyd. WICHiR, Warszawa, 2008.
- [31] http://12bdow.wp.mil.pl/pl/4_168.html [dostęp: 01.2020].
- [32] http://12bz.wp.mil.pl/pl/17_870.html [dostęp: 04.2020].
- [33] sigma-aldrich.com, Karta charakterystyki, 2-chlorobenzylidenemalononitrile.
- [34] *Metodyka kontroli dopasowania masek przeciwgazowych MP-5 i MP-6 z wykorzystaniem przyrządu do kontroli dopasowania masek przeciwgazowych PortaCount PRO*, WICHiR, Warszawa, 2010.
- [35] OPChem. 361/89 *Sprawdzenie szczelności i dopasowania masek przeciwgazowych*, Warszawa, 1990.
- [36] *Procedura D-28 Laboratorium Badawczego Ochrony Dróg Oddechowych Wojskowego Instytutu Chemii i Radiometrii. Badanie całkowitego przecieku wewnętrznego masek*, WICHiR, Warszawa, 2011.

D. KAMIONEK, W. HARMATA

Problems of adjusting a filtering gas mask during its prolonged use

Abstract. This paper characterizes the problem of matching masks that are part of individual means of protection against contamination. The method of matching masks in the Polish Armed Forces with the use of irritating chemical agents such as chloropicrin and CS was analyzed. The paper presents the results of tests on the matching of modern filtering masks using the optoelectronic method during long-term use. They were analyzed and compared with the results of the reference method - total internal leakage.

Keywords: defense against weapons of mass destruction, individual protective equipment, fitting filter masks

DOI: 10.5604/01.3001.0014.2811