



Ochrona wojsk — zbiorowe środki ochrony przed skażeniami

WŁADYSŁAW HARMATA

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii,
Instytut Chemii, Zakład Radiometrii i Monitoringu Skażeń, ul. gen. S. Kaliskiego 2,
00-908 Warszawa, wladyslaw.harmata@wat.edu.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono ogólne zasady użycia oraz klasyfikację zbiorowych środków ochrony przed skażeniami. Sprecyzowano zalecenia funkcjonalne i eksploatacyjne dla środków ochrony zbiorowej oraz opisano system wentylacji obiektów w zależności od ich rodzaju.

Słowa kluczowe: nauki chemiczne, nauki o bezpieczeństwie, środki masowego rażenia, ochrona zbiorowa

DOI: 10.5604/01.3001.0016.0536

1. Wprowadzenie

Sytuacja geopolityczna we współczesnym świecie nie jest zbyt optymistyczna. Wojna na Ukrainie przypomina, że systemy totalitarne za nic mają prawo międzynarodowe. Istnieje realne zagrożenie użycia broni masowego rażenia (BMR) w skali lokalnej, co może skutkować reakcją odwetową, a to może wywołać konflikt globalny.

Podstawowym wyposażeniem umożliwiającym przetrwanie ataku bronią masowego rażenia lub zdarzenie ROTA (ang. *release other than attack* – uwolnienie inne niż atak BMR) i kontynuowanie działania w warunkach skażeń są środki ochrony indywidualnej ISOPS. Większość zadań może być wykonywana w założonych środkach indywidualnych (ISOPS), ale wpływają one niekorzystnie na użytkowników.

Poniżej przedstawiono charakterystykę poszczególnych czynników fizjologicznych i psychologicznych związanych z przebywaniem w ISOPS wpływających na obniżenie zdolności bojowej:

- obniżenie zdolności bojowej — przebywanie w ISOPS przez długi czas powoduje obniżenie zdolności fizjologicznych i psychicznych, widoczne jest to szczególnie w warunkach klimatu gorącego — wilgotnego i przy dużej intensywności pracy;
- czynniki fizjologiczne — stres cieplny, odwodnienie, trudności z oddychaniem, nieodpowiednie żywienie, zaspokajanie potrzeb fizjologicznych. Czynniki te mogą wymagać rozszczelnienia bądź zdjęcia środków ochrony indywidualnej;
- czynniki psychologiczne — izolacja od środowiska, stres bojowy. Utrudniona jest synchronizacja manewrów, kierowanie jednostkami i zgrywanie czasowe. Utrudnienia w wykrywaniu i wskazywaniu celów wpływają na zmniejszenie efektywności zarówno ognia bezpośredniego, jak i pośredniego, skraca się odległość wykrywania celów i prowadzenia ognia. Pogarsza się komunikacja zarówno bezpośrednia, jak i z wykorzystaniem środków łączności. Utrudniony odbiór bodźców wzrokowych i słuchowych wydłuża czas przekazywania wiadomości, co zwiększa narażenie na oddziaływanie środków walki radioelektronicznej przeciwnika. Długotrwałe działania w terenie skażonym stanowią też poważne wyzwanie od strony logistycznej (dostarczanie zaopatrzenia, obsługa sprzętu, zabezpieczenie medyczne) [1].

W celu zmniejszenia tych niedogodności stosowane są systemy ochrony zbiorowej (SOZ)¹, jako element ochrony ludzi. W normie obronnej NO-01-A006:2010 ochrona ta zdefiniowana jest jako „zastosowanie koncepcji, doktryn, procedur lub sprzętu w celu zapewnienia indywidualnej i zbiorowej ochrony przed skutkami użycia broni masowego rażenia oraz ochrony ofiar użycia tej broni, obejmuje również podjęcie medycznych środków zaradczych, umożliwiających zachowanie życia i działanie w środowisku skażonym substancjami chemicznymi, biologicznymi, radiologicznymi i nuklearnymi” [2]. Publikacja Szkol. 978/2020 definiuje zbiorową ochronę przed skażeniami następująco: „ochrona przed skażeniami z wykorzystaniem zbiorowych środków ochrony przed skażeniami ma na celu zwiększenie zdolności wojsk do przetrwania podczas kontynuowania działań w terenie skażonym, jak również zapewnienie im odpoczynku. Wykorzystanie ZSOPS pozwala na ograniczenie psychologicznych i fizjologicznych efektów działania w terenie skażonym, które powstają podczas długotrwałego przebywania w ISOPS” [3].

¹ W publikacji Szkol. 978/2020 obiekty ochrony zbiorowej określane są jako zbiorowe środki ochrony przed skażeniami (ZSOPS), w tej pracy użyto pojęcia SOZ — środki ochrony zbiorowej.

W publikacji Chem. 396/2004 (DD/3.8) oraz dokumencie NATO AJP-3.8 podano ograniczenia [4, 5]:

- ograniczone możliwości wykrywania skażeń biologicznych mogą powodować opóźnienia w ocenie zagrożenia i stosowaniu reżimów ochrony. Może to doprowadzić do przedostania się skażeń do wnętrza obiektów;
- w przypadku wystąpienia skażeń promieniotwórczych ochrona wnętrza SOZ przed promieniowaniem zależy od właściwości materiału, z którego system jest wykonany (bądź obiektu, wewnątrz którego jest umieszczony). Systemy przeznaczone do transportu nie zapewniają znaczącej ochrony przed promieniowaniem jonizującym;
- filtropochłaniacze stosowane w systemach ochrony zbiorowej mogą nie zapewniać odpowiedniej ochrony przed toksycznymi środkami przemysłowymi (TSP), szczególnie w przypadku wysokich stężeń i wypierania tlenu z atmosfery.

2. Klasyfikacja SOZ

Wyróżnia się następujące rodzaje SOZ [3, 6, 7, 8, 9]:

1. Stałe (stacjonarne) obiekty zbiorowej ochrony przed skażeniami. To obiekty ochrony zbiorowej nieprzewidywane do przemieszczania, w które jednostki są wyposażone w miejscach stałej dyslokacji (takich jak lotniska, obiekty dowodzenia i kierowania, szpitale, bazy materiałowe). Powinny nimi dysponować jednostki, które muszą realizować swoje zadania w sposób ciągły, nawet wówczas, gdy znajdują się w rejonie skażeń. Muszą posiadać udoskonalone charakterystyki ochronne przed atakami konwencjonalnymi oraz uderzeniami BMR. Dzieli się je na typ ciężki, średni i lekki. Obiekty typu ciężkiego i średniego zapewniają ochronę nie tylko przed BMR, lecz także przed konwencjonalnymi głowicami bojowymi, obiekty typu lekkiego nie gwarantują takiej ochrony, a ich głównym celem jest ochrona ludzi przed rażącymi czynnikami BMR. W armii USA stałe SOZ dzielone są na aktywne i pasywne. W systemach aktywnych stosowane są systemy filtrowentylacji o dużej skuteczności oraz wytrzymałe budynki bądź schrony. Systemy te zapewniają najwyższy poziom ochrony przez długi czas. Systemy pasywne wykorzystują budynki lub schrony jako barierę ochronną, ograniczającą wymianę powietrza z zewnątrz. Im mniej powietrza z zewnątrz dostaje się do wnętrza, tym lepsza ochrona.
2. Ruchome (mobilne) zbiorowe środki ochrony przed skażeniami. W skład tej grupy wchodzi pojazdy lądowe (czołgi, wozy bojowe i inne), statki powietrzne i okręty wyposażone w systemy uszczelniające, których celem jest niedopuszczenie do skażeń wewnętrznych, oraz posiadające systemy

filtracji powietrza. Systemy te powinny umożliwiać korzystanie z nich w ruchu i na postoju. Ze względu na stopień zapewnianej ochrony i sposób integracji z platformą bazową dzieli się je na:

- wspomagające oddychanie (w maskach) — montowane w pojazdach bądź statkach powietrznych w celu dostarczenia załodze oczyszczonego powietrza w odpowiedniej ilości. Systemy te mają zastosowanie w przypadkach, gdy nie jest możliwe (bądź celowe) zapewnienie nadciśnienia i filtracji w całej przestrzeni pojazdu (statku powietrznego) w razie konieczności umożliwienia większego wydatku powietrza personelowi (załodze) korzystającemu z indywidualnych środków ochrony dróg oddechowych. Dostarczają one oczyszczone powietrze do filtropochłaniaczy masek, co zmniejsza opory oddychania w masce, dodatkowo w warunkach niskich temperatur dostarczane powietrze może być podgrzewane;
 - nadciśnieniowe — wewnątrz systemu wytwarzane jest nadciśnienie, które zapobiega dostawaniu się skażonego powietrza do środka;
 - hybrydowe — stanowią połączenie systemów wspomagających oddychanie i nadciśnieniowych, które mogą działać jednocześnie lub oddzielnie;
 - pełne (kompletne) — są to systemy nadciśnieniowe bądź hybrydowe wyposażone w klimatyzację. Chłodzenie powietrza dostarczanego do wnętrza zmniejsza stres cieplny pracującego personelu.
3. Przewoźne (transportowalne) zbiorowe środki ochrony przed skażeniami (przystosowane do transportu — kontenerowe i namiotowe) to systemy ochronne, które mogą być rozstawiane i zwijane, a następnie przewożone w zależności od potrzeb jako samodzielne, niezależne od instalacji w budynkach. W ich skład mogą wchodzić również pojazdy kołowe lub gąsienicowe.
 4. Doraźne (tymczasowe) — w publikacji FM 3-11.4 w obiektach stałych klasa I-C, Expedient (doraźny, tymczasowy) wymagane są uszczelnienia wybranych części budynku za pomocą środków tymczasowych, takich jak folie z tworzyw sztucznych czy taśmy. Urządzenia filtrowentylacyjne i grzewcze/chłodzące mogą być montowane w obiekcie jako przewoźne (przenośne). W obiekcie tego typu wymagana jest organizacja tymczasowej strefy kontroli skażeń (CCA — Contamination Control Area). W obiektach zakwalifikowanych jako klasa I-D wymagane będą dodatkowe obudowy uszczelniające, np. w postaci przenośnych obudów wewnętrznych lub systemu wykładzin.

Koncepcję rozwiązań typu I-C i I-D opracowano w kraju dla eskadr samolotowych. Bazuje ona na hangarach lub budynkach magazynowych oraz wewnętrznych uszczelnieniach całej objętości formą namiotu z przęsłami pneumatycznymi lub podczepianymi. Obiekt ma być zasilany w powietrze, w tym ogrzewanie z modułowych (przewoźnych) urządzeń filtrowentylacyjnych [10].

Wśród systemów ochrony zbiorowej wykorzystujących do zapewnienia bezpieczeństwa nadciśnienie możemy wyodrębnić trzy kategorie:

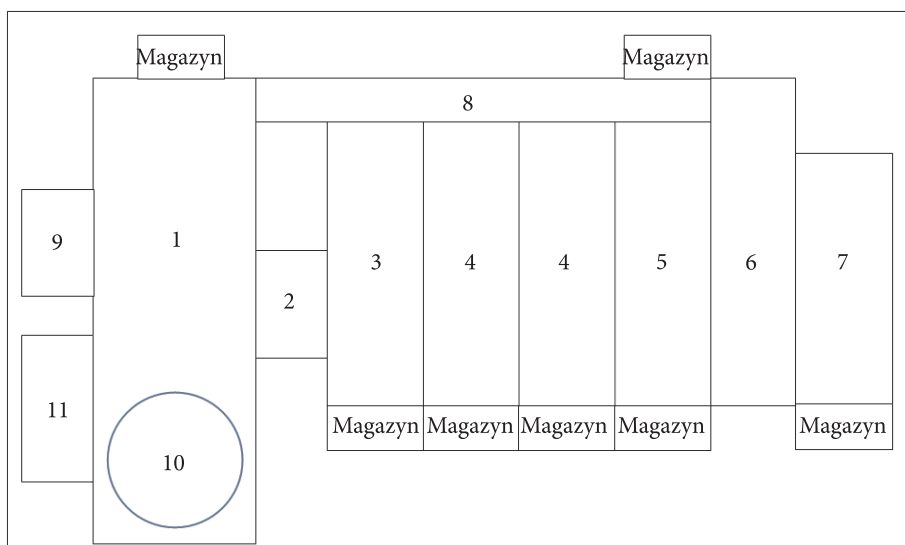
1. Posiadające strefę kontrolowanych skażeń oraz służę. W warunkach skażeń pozwalają one na częste wchodzenie do obiektu i jego opuszczanie bez powodowania skażeń obiektu i przy zachowaniu wymogów zbiorowej ochrony. Systemy te umożliwiają personelowi pracującemu w nich wchodzenie do obiektu oraz opuszczanie go w dowolnym czasie, niezależnie od panujących warunków skażeń. Obiekty te muszą być wyposażone w taki sposób, aby można było w nich zdjąć maskę i odzież ochronną. Przykładem mogą być bojowe centra operacyjne, dowództwa, szpitale.
2. Wyposażone w służę, ale nieposiadające strefy kontrolowanych skażeń. W obiektach tego typu personel, który nie został skażony ciekłymi bojowymi środkami trującymi, może wchodzić do obiektu i go opuszczać jedynie wówczas, gdy poziom skażeń jest niski. Do obiektu nie może wchodzić personel skażony ciekłymi BST, by nie powodować w ten sposób niebezpieczeństwa przeniesienia skażeń do strefy nieskażonej. Strefa nieskażona musi być wyposażona w urządzenia do monitorowania poziomu skażeń w celu kontrolowania, czy nie następuje akumulacja par środka trującego do niebezpiecznego poziomu. Systemy te umożliwiają ograniczone wchodzenie i wychodzenie. Przykładami są niektóre okręty, uproszczone systemy schronów oraz niektóre systemy kontenerowe montowane na pojazdach.
3. Systemy nieposiadające służy ani strefy kontrolowanych skażeń. Obiekty wyposażone w takie systemy zapewniają ochronę przed skażeniami, jeśli włązy i drzwi pozostają zamknięte. Wejście do obiektu lub opuszczenie go powoduje utratę własności ochronnych. Przykładami są czołgi i wozy bojowe [11, 12].

Na rysunku 1 przedstawiono schemat SOZ ze wszystkimi elementami do zapewnienia bezpieczeństwa osób.

Stosowanie systemów ochrony zbiorowej wynika z konieczności pozostawania w obszarze, w którym istnieje duże zagrożenie użyciem BMR lub prowadzenia działań przez długi czas w terenie skażonym. Zawsze należy ocenić, czy przeciwnik dysponuje środkami umożliwiającymi wykonanie uderzenia na dany obszar oraz czy siły własne mają możliwość ochrony poprzez manewr. Publikacja ATP-3.8.1 podaje następujące zasady użycia systemów ochrony zbiorowej:

- unikanie zagrożenia — jeśli zmiana dyslokacji spowoduje uniknięcie zagrożenia, jest to najlepsze rozwiązanie. Ochrona zbiorowa powinna być stosowana, jeśli nie ma innej możliwości;
- priorytety — ochrona zbiorowa może być wykorzystana do zabezpieczenia wielu współzawodniczących ze sobą potrzeb. Na podstawie dostępności SOZ należy ustalić potrzeby priorytetowe, które powinny być zabezpieczone w pierwszym rzędzie;

- ochrona — stosownie do prowadzonych działań oraz umiejscowienia na polu walki należy zapewnić bezpieczeństwo SOZ przed ogniem przeciwnika. Personel przebywający wewnątrz nie może sam się bronić, dlatego jego bezpieczeństwo musi być zapewnione przez dodatkowe siły działające na zewnątrz (w warunkach skażeń);
- wchodzenie i opuszczanie SOZ — powinno być ograniczone do koniecznych sytuacji, gdyż zwiększa zagrożenie skażeniem;
- personel obsługujący — systemy, w których przewidywana jest duża częstotliwość wchodzenia i wychodzenia, wymagają stałej (etatowej) obsługi. Do jej zadań należy między innymi przeprowadzanie procedur kontroli wejścia, pomoc podczas wchodzenia i opuszczania SOZ oraz w razie konieczności wykonywanie niezbędnych czynności na zewnątrz (wymiana filtropochłaniaczy). Procedury postępowania powinny zawierać obowiązki obsługi w czasie i po ataku BMR [6].



Rys. 1. Modułowy system CBRN zbiorowej ochrony przed skażeniami dla skażeń ciekłych i gazowych: 1 — strefa czysta, 2 — służa powietrzna, 3 — strefa zagrożenia parami, 4 — strefa zagrożenia aerozolami, 5 — strefa zagrożenia skażeniami kropłowymi, 6 — strefa monitorowana, 7 — strefa kontroli, 8 — korytarz do przejścia osób uznanych za nieskażone, 9 — system filtrowentylacji, 10 — system recykulacji powietrza, 11 — system kontroli skażeń

Źródło: [13]

3. Zalecenia funkcjonalne i eksploatacyjne dla środków ochrony zbiorowej

Zabezpieczenie sił zbrojnych w systemy zbiorowej ochrony przed skażeniami zależy od charakteru realizowanych przez nie zadań operacyjnych oraz poziomu zagrożenia użyciem przez przeciwnika BMR. W skład systemów ochrony zbiorowej, w zależności od przeznaczenia, mogą wchodzić następujące moduły [14]:

- urządzenie filtrowentylacyjne² (UFW) — oczyszcza powietrze ze skażeń, utrzymuje nadciśnienie wewnątrz systemu, umożliwia oczyszczanie śluz powietrznych [2, 15];
- moduł klimatyzacji — utrzymuje wymaganą temperaturę i wilgotność;
- moduł regeneracji tlenu — w razie konieczności służy do uzupełniania niedoborów tlenu w atmosferze;
- filtr recyrkulacji powietrza — urządzenie filtrowentylacyjne działające w strefie nieskażonej, stanowi dodatkowe zabezpieczenie przed akumulacją niskich stężeń skażeń wewnątrz SOZ;
- moduł zasilania — dostarcza zasilanie do urządzeń zapewniających funkcjonowanie systemu. Zasilanie może być pobierane z sieci zasilającej, generatora bądź z platformy nosiciela (w systemach ruchomych);
- strefa nieskażona³ (SN) — w strefie tej personel może przebywać bez założonych ISOPS. Powinna zapewniać szczelność umożliwiającą wytworzenie odpowiedniego nadciśnienia. Może być podzielona na kilka pomieszczeń. Przepływ powietrza powinien odbywać się w niej w sposób zapobiegający powstawaniu obszarów z utrudnioną wymianą powietrza. Może być wyposażona w urządzenia do kontroli skażeń, ciśnienia, zużycia filtrów, oświetlenie i inne zależnie od potrzeb;
- śluza powietrzna⁴ — tworzy pomieszczenie pomiędzy strefą nieskażoną a strefą kontrolowanych skażeń, oczyszczane powietrzem ze strefy nieskażonej. Zapobiega to skażeniu SN podczas wchodzenia i wychodzenia;

² Urządzenie filtrowentylacyjne (*air filtration unit*) — w zbiorowej ochronie przed skażeniami urządzenie, które dostarcza czyste powietrze do strefy nieskażonej [NO-01-A006:2010, AAP-21(B)].

³ Strefa nieskażona (*toxic free area*) — w zbiorowej ochronie przed skażeniami przestrzeń wolna od skażeń, która jest szczelna. Występuje w niej nadciśnienie i dostarczane jest czyste powietrze, co umożliwia stanowi osobowemu przebywanie w niej bez konieczności stosowania indywidualnych środków ochrony przed skażeniami [NO-01-A006:2010, AAP-21(B)].

⁴ Śluza powietrzna (*airlock*) — w zbiorowej ochronie przed skażeniami pomieszczenie znajdujące się pomiędzy strefą nieskażoną a strefą kontrolowanych skażeń albo źródłem zagrożenia jądrowego, biologicznego i chemicznego, posiadające podwójne drzwi, do którego doprowadzane jest czyste powietrze, stwarza stanowi osobowemu możliwość przemieszczania się z jednej strefy do drugiej i jednocześnie uniemożliwia przenikanie skażeń do strefy nieskażonej [NO-01-A006:2010, AAP-21(B)].

- strefa kontrolowanych skażeń⁵ (SKS) — powinna znajdować się przed służą powietrzną. Konstrukcja nośna obudowy strefy i wyposażenie są zależne od przeznaczenia, przewidywanego zagrożenia, liczby osób korzystających z systemu oraz przewidywanego natężenia ruchu. W skład SKS mogą wchodzić następujące elementy:
 - strefa kontroli — przeznaczona do kontroli wchodzenia i wychodzenia, procedur wstępnych, np. identyfikacji personelu,
 - punkt kontrolny — wyposażony w detektory do kontroli skażenia personelu i wyposażenia,
 - strefa zagrożenia ciekłymi środkami trującymi⁶ (SZC) — wchodzi się do niej bezpośrednio z zewnątrz, wykonywane są w niej zabiegi specjalne, personel zdejmuje w niej i przechowuje wyposażenie,
 - przebieralnia⁷ — powinna znajdować się za SZC, zdejmuje się tu skażone ubiory ochronne (bądź nakłada) w stosunkowo bezpiecznych warunkach, zapewnionych przez silny przepływ powietrza ze strefy nieskażonej,
 - strefa zagrożenia pyłami⁸ (*particulate hazard area*) — w strefie tej usuwane są pyły, np. poprzez stosowanie pryszniców,
 - strefa zagrożona parami środków trujących⁹ — powinna znajdować się bezpośrednio przed służą powietrzną, można tu dokonywać wymiany masek lub innych elementów ISOPS niezdejętych wcześniej, w strefie tej powinien być zapewniony silny nawiew ze strefy nieskażonej,

⁵ Strefa kontrolowanych skażeń (*contamination control area*) — w zbiorowej ochronie przed skażeniami strefa znajdująca się przed strefą nieskażoną, w której stan osobowy może zdjąć skażone indywidualne środki ochrony przed skażeniami w celu zmniejszenia zagrożenia i gdzie można przeprowadzić odkażanie sprzętu i materiałów; strefa obejmuje służę powietrzną, strefy zagrożone parami bojowych środków trujących, przebieralnie oraz strefy zagrożone ciekłymi środkami trującymi [NO-01-A006:2010, AAP-21(B)].

⁶ Strefa zagrożenia ciekłymi środkami trującymi (*liquid hazard area*) — w zbiorowej ochronie przed skażeniami ta część strefy kontrolowanych skażeń, która znajduje się bezpośrednio za wejściem z terenu skażonego i w której stan osobowy może przeprowadzić likwidację skażeń [NO-01-A006:2010, AAP-21(B)].

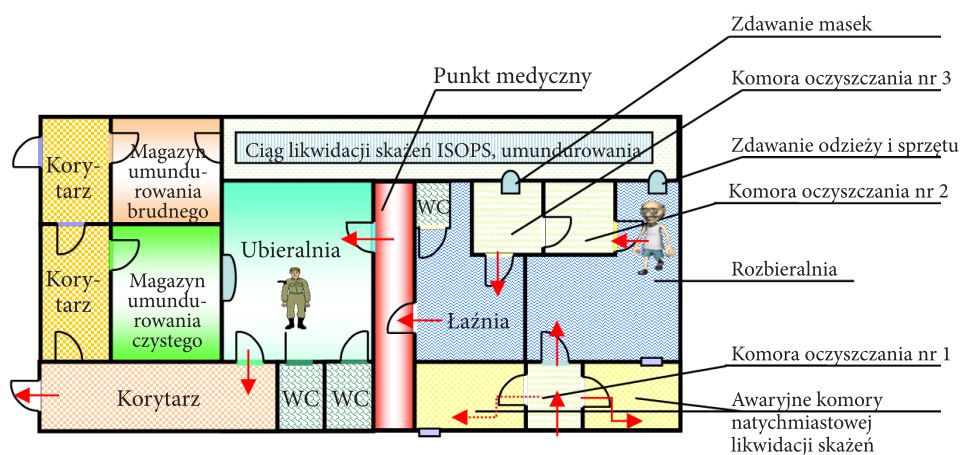
⁷ Przebieralnia (*changing booth*) — w zbiorowej ochronie przed skażeniami pomieszczenie wewnątrz strefy kontrolowanych skażeń, do którego tłoczone jest oczyszczone powietrze i w którym ludzie mogą bezpiecznie zdjąć lub założyć odzież ochronną [NO-01-A006:2010, AAP-21(B)].

⁸ Publikacja ATP-3.8.1 cz. 2 strefę zagrożenia pyłami umieszcza za strefą zagrożenia parami środków trujących. W strefie zagrożenia parami zdejmuje się obuwie ochronne i rękawice, natomiast w strefie zagrożenia pyłami przeprowadza się końcowe odkażanie (zwykle przy pomocy natrysku) oraz zdejmuje się maskę tranzytową, którą osoba wchodząca przechowuje przy sobie w strefie nieskażonej.

⁹ Strefa zagrożona parami środków trujących (*vapour hazard area*) — w zbiorowej ochronie przed skażeniami ta część strefy kontrolowanych skażeń, która znajduje się między strefą zagrożoną ciekłymi środkami trującymi a służą powietrzną, w której występuje jedynie skażenie parami bojowych środków trujących [NO-01-A006:2010, AAP-21(B)].

- strefy magazynowe — mogą być stosowane w połączeniu z innymi strefami w celu przechowywania czystego, skażonego bądź zapasowego wyposażenia,
- strefy przechowywania odpadów — mogą być stosowane w połączeniu z innymi strefami w celu przechowywania czystych bądź skażonych odpadów.

Na rysunku 2 przedstawiono schematycznie węzeł wejściowy do obiektu ćwiczeń z BST.



Rys. 2. Schemat węzła wejściowego do obiektu (strefa wejścia z węzłem odkażania)

Źródło: [16]

Opracowywane w ATP-70 zalecenia przewidują, że systemy ochrony zbiorowej, zależnie od przeznaczenia, powinny posiadać określone moduły. Z zalecanym wyposażeniem SOZ wiąże się jego podział na cztery poziomy (tabela 1).

SOZ powinny być wyposażone w urządzenia zapewniające łączność, zarówno pomiędzy poszczególnymi elementami systemu, jak i na zewnątrz. Mogą być również wyposażone w ubikacje. Jeśli do ochrony zbiorowej przystosowana jest część budynku, można wykorzystać istniejące toalety, w innych przypadkach można stosować zakrywane pojemniki lub toalety chemiczne. SOZ należy wyposażyć w oświetlenie zasilane z sieci (jeśli dostępna) i bateryjne na wypadek awarii.

TABELA 1

Zalecane ukompletowanie systemów ochrony zbiorowej w zależności od przeznaczenia

Lp.	Moduł (strefa, punkt)	Poziom SOZ (przeznaczenie)			
		Poziom 1 (schrony umożliwiają- ce przeżycie)	Poziom 2 (realizacja zadań C ⁴ I ¹⁰)	Poziom 3 (warsztaty naprawcze)	Poziom 4 (zapewnienie odpoczynku, szpitale, obiekty medyczne)
1	Strefa kontroli		X	X	X
2	Punkt kontrolny		X	X	X
3	Strefa zagrożona ciekłymi ST		X	X	X
4	Przebiegarnia			X	X
5	Strefa zagrożona pyłami		X	X	X
6	Strefa zagrożona parami ST		X	X	X
7	Strefy magazynowe				X
8	Strefy przechowyw. odpadów				X
9	Śluza powietrzna	X	X	X	X
10	Strefa nieskażona	X	X	X	X
11	Moduł klimatyzacji			X	X
12	Moduł regeneracji tlenu			X	X
13	Filtr recyrkulacji powietrza			X	X
14	Urządzenie filtrowentylacyjne	X	X	X	X
15	Moduł zasilania	X	X	X	X

Źródło: [14]

W zależności od konstrukcji nośnej obudowy SOZ i przewidywanej liczby personelu, który ma w nich przebywać, konieczne może być łączenie stref wolnych od skażeń w większe układy funkcjonalne. Oprócz typowych kwestii koniecznych do uwzględnienia, takich jak zapewnienie filtracji powietrza i nadciśnienia, należy wziąć pod uwagę również zagwarantowanie odpowiedniego przepływu powietrza, aby zapobiec tworzeniu się obszarów nieprzewietrzanych. Istotne jest też zapewnienie odpowiedniej liczby wejść, które powinny umożliwiać dostarczenie do wewnątrz przewidywanego wyposażenia. Dla takich kompleksów powinny być opracowane procedury rozwijania. Zależnie od zagrożenia można najpierw rozwinąć pojedynczy element bądź kilka elementów do pełnej gotowości, a potem kontynuować rozwijanie pozostałych elementów. Zapewni to zabezpieczenie na wypadek wystąpienia skażenia przed rozwinięciem całego kompleksu.

¹⁰ C⁴I — ang. *Command, Control, Communications, Computers and Intelligence* — dowodzenie, kierowanie, komunikacja, komputery i rozpoznanie.

Systemom ochrony zbiorowej przeznaczonym do zabezpieczenia operacji połączonych sił NATO stawia się następujące wymagania:

- utrzymanie odpowiedniego nadciśnienia w strefie wolnej od skażeń we wszystkich przewidywanych warunkach użytkowania;
- zachowanie skutecznej ochrony personelu bądź wyposażenia SOZ podczas wchodzenia (opuszczania). Czas niezbędny na wejście personelu (z uwzględnieniem procedury odkażania) powinien być użytkowo akceptowalny;
- moduły SOZ wielokrotnego użytku narażone na skażenie powinny być podatne na odkażanie;
- musi być zapewniona możliwość wymiany filtropochłaniaczy w urządzeniach filtrowentylacyjnych;
- liczba personelu obsługi SOZ powinna być ograniczona do niezbędnego minimum;
- SOZ powinny zapewniać odpowiednie warunki osobom przebywającym wewnątrz w przewidywanych warunkach klimatycznych;
- SOZ powinny być przystosowane do transportu powietrznego [14].

Opracowywane wytyczne NATO przewidują uzależnienie osiągnięcia gotowości SOZ od poziomu zagrożenia BMR (określonego zgodnie ze stanągiem 2984). Przy „zerowym” poziomie zagrożenia należy skontrolować dostępność i zdatność do użytku wszystkich modułów systemu. Przy „niskim” poziomie zagrożenia systemy powinny być rozwijane, należy przetestować urządzenia odpowiadające za utrzymywanie nadciśnienia. Jeśli systemy są przeznaczone do zabezpieczenia działań C⁴I lub medycznych, mogą być używane. Gdy obowiązuje poziom zagrożenia „średni”, systemy działają, utrzymywane jest nadciśnienie, jeśli są przeznaczone do zabezpieczenia działań C⁴I lub medycznych, powinny być używane. Przy poziomie zagrożenia „wysokim” systemy w pełni działają, personel przebywa wewnątrz, stosowane są procedury wchodzenia i opuszczania obiektów. Zaleca się, aby wyposażenie SOZ zapewniało ciągłe działanie przez 48 godzin bez uzupełniania. Ilość koniecznego wyposażenia i zapasów jest zależna od wielkości systemu oraz przewidywanej rotacji personelu. Wśród przechowywanych zapasów powinny się znaleźć: odkażalniki i sprzęt do odkażania, detektory skażeń, środki ochrony indywidualnej, umundurowanie, baterie i inne materiały eksploatacyjne do wykorzystywanych urządzeń, torby lub inne pojemniki do przechowywania nieskażonego wyposażenia. Należy wziąć pod uwagę również fakt, że ciągłe działanie w warunkach skażeń prowadzi do szybszego wyczerpywania się zapasów wody, pożywienia oraz środków ochrony indywidualnej. Na podstawie wymaganego poziomu i przewidywanego tempa zużycia zapasów należy opracować plan i procedury ich uzupełniania [14, 17].

Korzystanie z systemów ochrony zbiorowej wiąże się z przestrzeganiem określonych procedur działania [6, 7]. Powinny być one dostosowane do konkretnych jednostek, uwzględniać ich organizację, zadania i wyposażenie.

Należy opracować procedury likwidacji skażeń wokół wejścia do SOZ w przypadku skażenia ciekłymi środkami. Instrukcja FM 3-11.4 zaleca zdjęcie wierzchniej warstwy gruntu (lub śniegu), przysypanie terenu warstwą nieskażonego piachu lub ziemi. Czystą powierzchnię przed wejściem można również uzyskać, rozkładając sklejkę, tekturę, brezent bądź inny materiał.

Istotnym elementem stałych i przewoźnych systemów ochrony zbiorowej są procedury umożliwiające wchodzenie do SOZ i opuszczanie go z zachowaniem integralności strefy nieskażonej. Procedury te powinny stwarzać jak najmniejsze ryzyko skażenia, muszą być opanowane przez personel korzystający z SOZ i ściśle przestrzegane. Ważną kwestią jest zapewnienie interoperacyjności i standaryzacji SOZ. NATO zaleca, aby systemy opracowywane w krajach członkowskich miały podobną konstrukcję. Jest to szczególnie istotne w przypadku personelu wielonarodowych kwater głównych oraz personelu lotniczego, gdzie przewidywana jest znaczna wymiennosc. Personel ten, zaznajomiony z narodowymi procedurami, mógłby stosować je w innych bazach. Procedury wchodzenia i wychodzenia są czasochłonne i stwarzają dodatkowe niebezpieczeństwo, dlatego wchodzenie i opuszczanie SOZ powinno odbywać się tylko w uzasadnionych przypadkach. Szczególną ostrożność należy zachować w czasie operacji połączonych, gdy z SOZ korzysta personel różnych narodowości, posługujący się różnym wyposażeniem i odmiennie wyszkolony.

Opracowania NATO [14, 18] podają zalecane procedury wchodzenia i opuszczania SOZ dla załóg lotniczych¹¹ i personelu naziemnego¹². Aby zapobiec błędom, STANAG 2941¹³ zaleca oznaczanie poszczególnych procedur odpowiednimi kolorami. W stanagu tym oddzielne procedury przewidziano dla skażeń chemicznych w postaci par (tło - kolor żółty, litery czerwone), ciekłych skażeń chemicznych (tło koloru żółtego z czerwoną obwódką, litery czerwone) oraz opadu promieniotwórczego (tło białe, litery czarne). Procedura dla sytuacji braku zagrożenia powinna być napisana literami w kolorze czarnym na zielonym tle. Aby zapewnić zrozumiałość i bezpieczeństwo podczas wykonywania procedur, powinny być one zilustrowane piktogramami z niezbędnymi opisami słownymi w języku angielskim, francuskim oraz języku państwa gospodarza (jeśli jest inny). Zalecane procedury wchodzenia i opuszczania SOZ dla personelu naziemnego w sytuacji zagrożenia parami środków trujących wraz z odpowiednimi piktogramami przedstawiono w tabeli 2 i na rysunku 3.

¹¹ Załoga lotnicza — personel latający morskich, lądowych i lotniczych sił zbrojnych posiadający specjalistyczne indywidualne wyposażenie ochronne przed skażeniami przeznaczony dla personelu latającego [NO-05-A007:2012].

¹² Personel naziemny — żołnierze sił morskich, lądowych i lotniczych posiadający indywidualne wyposażenie ochronne przed skażeniami.

¹³ Postanowienia edycji 2 stanagu 2941 zostały uwzględnione w normie obronnej NO-05-A007:2012 — *Obrona przed bronią masowego rażenia — Środki ochrony przed skażeniami znajdujące się w obiektach Sił Powietrznych — Zasady korzystania*.

Numery piktogramów dla poszczególnych czynności podano w nawiasach. Procedury te powinny być stosowane w następujących warunkach:

- w przypadku wystąpienia skażenia parami środków chemicznych, do czasu obniżenia się skażenia do poziomu zapewniającego bezpieczeństwo SOZ i powrót do procedur obowiązujących w warunkach braku skażeń;
- po skażeniu trwałym środkiem ciekłym, zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz strefy kontrolowanych skażeń, który odparował lub został odkażony w stopniu umożliwiającym stosowanie tych procedur.

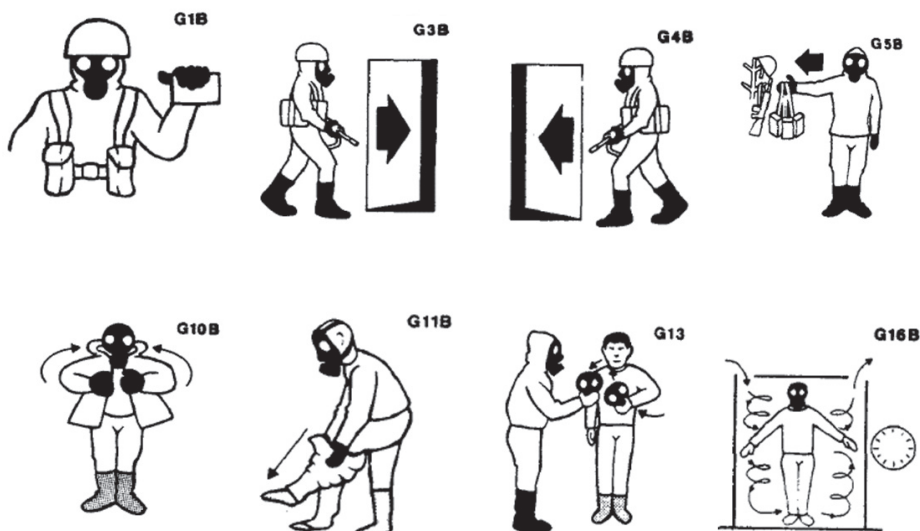
TABELA 2

Procedury wchodzenia do SOZ dla personelu naziemnego w sytuacji zagrożenia parami środków trujących

Procedura wchodzenia
1. Na zewnątrz strefy kontrolowanych skażeń, lecz pod osłoną ¹⁴ . a) Przeprowadzić sprawdzenie tożsamości, zgodnie z wymogami (G1B). b) Wejść (G3B lub G4B).
2. W strefie zagrożenia ciekłymi środkami trującymi. a) Zdjąć i oddać na przechowanie całe zewnętrzne wyposażenie osobiste i broń (G5B). b) Zdjąć i spakować obuwie ochronne (G6B). c) Wejść do przebieralni i zdjąć odzież ochronną (G10B i G11B). d) Spakować odzież ochronną (G12).
3. W strefie zagrożonej parami środków trujących. a) Zamienić posiadaną maskę na maskę czystą „tranzytową” (jeśli takie są dostępne zgodnie z procedurami narodowymi), która umożliwi przejście i zapewni ochronę w sytuacjach zagrożenia w strefie nieskażonej (G13). b) Zdjąć pozostałe elementy odzieży ochronnej (np. rękawice ochronne) przed wejściem do służby powietrznej (G14).
4. W służbie powietrznej wejściowej. a) Odczekać czas określony w narodowych rozwiązaniach konieczny do usunięcia toksycznych par ze służby. Czas wymagany do zakończenia wentylacji służby powinien być wskazywany w widoczny sposób wewnątrz służby (G16B). b) Jeśli maski tranzytowe nie są dostępne, zdjąć maskę i umieścić ją w torbie zabezpieczającej (szczelnej i odpornej na środki chemiczne), która może być wniesiona do strefy nieskażonej. Maską jest wtedy dostępna do awaryjnego użycia w przypadku naruszenia (utruty szczelności) strefy nieskażonej. c) Wykonać kontrolę bezpieczeństwa zgodnie z wymaganiami (G18A lub G18B). d) Przeprowadzić kontrolę skażeń szczytkowych (zgodnie z narodowymi ustaleniami) (G19).
5. W strefie nieskażonej. a) Przeprowadzić kontrolę skażeń szczytkowych (zgodnie z narodowymi ustaleniami) (G19). b) Zdjąć maskę tranzytową (jeśli jest stosowana) i przechowywać ją w gotowości do awaryjnego użycia w przypadku naruszenia (utruty szczelności) strefy nieskażonej (G20). c) Przeprowadzić dalsze czynności sprawdzające tożsamość zgodnie z wymaganiami (G18A). d) Umyć się zgodnie z narodowymi ustaleniami (G21 lub G22). e) Złożyć zalecane wyposażenie, zależnie od narodowych ustaleń, w celu zastąpienia elementów wyposażenia zdjętych podczas wchodzenia.

Źródło: [18]

¹⁴ Termin „pod osłoną” jest dosłownym tłumaczeniem, chodzi o przedsiónek (strefę kontroli).



Rys. 3. Przykłady piktogramów ilustrujących procedury wchodzenia i wychodzenia w SOZ

Źródło: [13]

Należy pamiętać, że pary środków trujących mogą być zatrzymane w odzieży i wyposażeniu i mogą uwalniać się w strefie kontrolowanych skażeń lub w strefie nieskażonej. Podczas gdy poziom uwolnionych par może być nieznaczący lub niewykrywalny na wolnym powietrzu (może zostać ogłoszony brak skażeń), ilość substancji toksycznej wewnątrz ograniczonych stref kontrolowanych skażeń oraz strefy nieskażonej może być wystarczająca do obezwładnienia personelu i uniemożliwienia wykonywania zadań na wymaganym poziomie.

4. Procesy przenikania powietrza skażonego do obiektu zamkniętego [12]

Doświadczenie i obliczenia teoretyczne wskazują, że na skutek przenikania powietrza skażonego do obiektu, spowodowanego różnicą ciśnień, z upływem czasu wewnątrz pomieszczeń może wytworzyć się niebezpieczne (toksyczne) stężenie środków trujących, promieniotwórczych i biologicznych. Jeżeli przy tym pomieszczenie nie jest wentylowane, to stężenie wewnątrz obiektu może osiągnąć wartość równą stężeniu zewnętrznemu. Proces przenikania powietrza skażonego do obiektu przez różnego rodzaju nieszczelności można schematycznie przedstawić w następujący sposób.

Pod działaniem różnicy ciśnień Δp zewnętrzne powietrze skażone przenika do wnętrza obiektu przez różne nieszczelności i stosunkowo szybko miesza się z powietrzem. Procesu tego nie należy jednak traktować jako włączania powietrza zewnętrznego do pomieszczenia hermetycznego, ponieważ w wyniku niewielkiego nadciśnienia wewnątrz pomieszczenia część powietrza wychodzi z niego na zewnątrz przez inne nieszczelności. Przy tym objętość powietrza wchodzącego w danym czasie równa się objętości powietrza wychodzącego.

W celu matematycznego wyrażenia tego procesu można założyć, że wymieszanie powietrza wchodzącego do pomieszczenia z powietrzem wewnętrznym następuje natychmiast i że na początku powietrze w pomieszczeniu było czyste, a sorpcja substancji szkodliwej na powierzchni materiałów konstrukcyjnych nie zachodzi. Niech do pomieszczenia o pojemności W [m³] w czasie t wnika v [m³/min] zewnętrznego powietrza skażonego. Przy stałym zewnętrznym stężeniu środka trującego, substancji promieniotwórczych i aerozoli biologicznych wynoszącym C_0 [g/m³] do czasu t w pomieszczeniu, na skutek przenikania powietrza zewnętrznego, ustali się stężenie C w g/m³.

Wówczas w czasie dt do wnętrza przeniknie ilość substancji szkodliwej równa $dm_1 = C_0 \cdot v \cdot dt$. W ciągu tego samego czasu z pomieszczenia wyjdzie z powietrzem następująca ilość substancji szkodliwej: $dm_2 = C \cdot v \cdot dt$. Różnica między tymi wartościami wyniesie $W \cdot dC$.

Równanie bilansu materiałowego będzie więc następujące:

$$dm_1 - dm_2 = W \cdot dC \quad (1)$$

lub

$$C_0 \cdot v \cdot dt - C \cdot v \cdot dt = W \cdot dC, \quad (2)$$

stąd

$$\frac{v}{W} dt = \frac{dC}{C_0 - C}. \quad (3)$$

Przy $t = 0$ także $C = 0$ i po scałkowaniu równania otrzymujemy stężenie po czasie t :

$$\begin{aligned} \frac{v}{W} \int_0^t dt &= \int_0^C \frac{dC}{C_0 - C}; & \frac{v}{W} t &= \ln \frac{C_0}{C_0 - C} \\ C &= C_0 \left(1 - e^{-\frac{v}{W} t} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

Równanie (4) charakteryzuje narastanie stężenia substancji szkodliwych w pomieszczeniu z upływem czasu.

5. Sposoby zabezpieczenia obiektów przed przenikaniem powietrza skażonego [12]

Bardzo trudno zupełnie usunąć zjawisko przenikania powietrza skażonego do obiektów. Aby to osiągnąć, należałoby zapewnić absolutną szczelność obiektów, co praktycznie jest niemożliwe. Dlatego należy dążyć do maksymalnego zmniejszenia ilości powietrza przenikającego do obiektu.

Można to osiągnąć dzięki:

- uszczelnieniu i zamknięciu wszelkich powstałych w czasie budowy otworów i szczelin;
- budowie szczelnych przedsionków (stref — rys. 1, tabela 1) w wejściach, dających kilka stopni uszczelnienia;
- wytworzeniu pewnego nadciśnienia powietrza w schronie, przeciwdziałającego przenikaniu skażonego powietrza przez nieszczelności.

Najpoważniejszą trudność w uszczelnianiu obiektów stanowi uszczelnianie wejść. Wiąże się to z tym, że przez wejście obiekt łączy się z otaczającą atmosferą w czasie otwierania drzwi.

Idea uszczelniania wejść polega na wytworzeniu kilku przegród szczelnych z minimalnymi nieszczelnościami oraz buforowych przestrzeni, w których zachodziłoby rozcieńczenie przenikającego powietrza skażonego.

Oprócz tego należy przewidzieć możliwość przewietrzania tych przestrzeni powietrzem wychodzącym z obiektu ochrony zbiorowej w celu okresowego oczyszczenia w nich powietrza. Ruch powietrza powinien przy tym odbywać się w kierunku skażonej atmosfery. Realizację tej idei osiąga się przez budowę przedsionków ze szczelnymi przegrodami i drzwiami hermetycznymi. Liczba przedsionków zależy od przeznaczenia, objętości i typu obiektu. W prostych, małych obiektach może być jeden przedsionek z dwójgiem hermetycznych drzwi. W dużych i ważnych obiektach może być więcej przedsionków. Im więcej przedsionków w wejściu, tym wyższy stopień szczelności, mniejsze prawdopodobieństwo przenikania powietrza skażonego przez wejście i dłuższy czas pełnej izolacji obiektu (okres, w którym nie pracuje urządzenie filtrowentylacyjne).

Jednak zwiększenie liczby przedsionków powoduje wzrost zużycia materiałów, czasu i siły roboczej oraz komplikuje eksploatację obiektów. Dlatego w praktyce liczbę tę ogranicza się do minimalnie niezbędnej (najwięcej pięć).

Spróbujmy ilościowo ocenić wartość przedsionków w zmniejszeniu zjawiska przenikania powietrza skażonego.

Rozpatrzmy przenikanie powietrza skażonego do obiektu posiadającego różne liczby przedsionków. Zgodnie z równaniem (4) stężenie po czasie t wyniesie:

- w pierwszym przedsionku:

$$C_1 = C_0 \left(1 - e^{-\frac{v_1}{W_1} t} \right) \quad (4a)$$

— w drugim przedsionku

$$C_2 = C_1 \left(1 - e^{-\frac{v_2 \cdot t}{W_2}} \right) \quad (4b)$$

— w n-tym przedsionku

$$C_n = C_{n-1} \left(1 - e^{-\frac{v_n \cdot t}{W_n}} \right) \quad (4c)$$

— w schronie

$$C_{sch} = C_n \left(1 - e^{-\frac{v_{sch} \cdot t}{W_{sch}}} \right) \quad (4d)$$

gdzie: C_0 — stężenie zewnętrzne substancji szkodliwej;

$v_1, v_2, \dots, v_n, v_{sch}$ — objętość przenikającego powietrza skażonego w jednostce czasu, odpowiednio w 1, 2... n-tym przedsionku i w schronie;

$W_1, W_2, \dots, W_n, W_{sch}$ — objętość odpowiednio 1, 2..., n-tego przedsionka i schronu

Nadciśnienie powietrza w schronie można wytworzyć przez uwolnienie sprężonego powietrza z butli, nagrzanie powietrza w schronie oraz przede wszystkim przez uruchomienie urządzenia filtrowentylacyjnego. Nadciśnienie powietrza wewnątrz obiektu nazywa się podporą i wyraża się w mm słupa wody (obecnie w Pa) – 1 mm sł. wody = 9,81 Pa.

Jeżeli w schronie występuje nadciśnienie, to powietrze nieprzerwanie wychodzi na zewnątrz przez nieszczelności i w tym przypadku zewnętrzne powietrze skażone nie może przenikać do schronu.

W uszczelnianych schronach połówkach nadciśnienie wytwarza się prawie natychmiast po uruchomieniu urządzenia filtrowentylacyjnego i natychmiast spada po jego wyłączeniu.

Wielkość nadciśnienia zależy od:

- szczelności obiektu,
- wydajności urządzenia filtrowentylacyjnego lub ilości powietrza wypuszczonego z butli.

Dla dowolnego obiektu o stałej hermetyczności nadciśnienie jest funkcją wydatku powietrza urządzenia filtrowentylacyjnego:

$$\Delta p = f(V). \quad (5)$$

W praktyce ważna jest znajomość wartości wymaganej podpory. W przypadku ogólnym podpora powinna wykluczać możliwość przenikania powietrza skażonego do obiektu. Dlatego jej wartość powinna nieznacznie przewyższać maksymalnie możliwą dla danego obiektu działającą różnicę ciśnień.

Dla obiektów stacjonarnych podlegających działaniu wiatru podpora powinna być nie mniejsza niż 50 mm sł. wody (w praktyce ok. 900 Pa).

Dla obiektów, na które wiatr nie oddziałuje, wystarczy podpora rzędu 10-20 mm sł. wody (praktycznie 300-400 Pa).

W praktyce wielkość podpory może być regulowana automatycznie przez zastosowanie odpowiednich zaworów, regulujących szybkość wypływu powietrza z obiektu.

6. Wentylacja obiektów [12]

Większość substancji (zarówno chemicznych, biologicznych, jak i neutralnych) wywołujących negatywne efekty w organizmie człowieka znajduje się w otaczającym powietrzu. Są to gazy toksyczne oraz pyły zawierające w swoim składzie bakterie, wirusy, grzyby oraz wiele różnych związków chemicznych (organicznych i nieorganicznych). Głównymi drogami wnikania do organizmu ludzkiego są drogi oddechowe. Podczas normalnej egzystencji człowiek emituje do atmosfery ditlenek węgla, parę wodną, ciepło oraz tzw. zapachy. Ditlenek węgla jest gazem duszącym fizycznie (przez zmniejszenie ciśnienia parcjalnego tlenu). Jest cięższy od powietrza i gromadzi się przy powierzchni ziemi oraz w dolnych częściach pomieszczeń. W stężeniu w powietrzu powyżej 5% wywołuje duszność, przyspieszenie oddechu i czynności serca, ból głowy, niepokój ruchowy, poty. W stężeniu większym niż 10% jest przyczyną duszności, omamów wzrokowych, utraty przytomności. W stężeniu powyżej 20% powoduje zaburzenia rytmu serca, drgawki i śmierć w następstwie porażenia ośrodka oddechowego. Kilku godzinne narażenie na ditlenek węgla w stężeniach 1-2% może powodować niespecyficzne objawy wskutek zaburzeń równowagi kwasowo-zasadowej. Najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) CO_2 w powietrzu wynosi 9000 mg/m^3 (0,5%), a chwilowe (NDSCh) — 27000 mg/m^3 (1,5%) [19]. Pomieszczenia powinny być zatem wentylowane.

Wentylacja to proces usuwania z pomieszczeń zanieczyszczonego powietrza i dostarczania w jego miejsce powietrza świeżego. Jest konieczna, ponieważ powietrze we wszystkich pomieszczeniach stale ulega zanieczyszczeniu. **Wentylacja pomieszczeń może następować w sposób naturalny.** Dzięki różnicy temperatur, a więc i gęstości powietrza wewnątrz i na zewnątrz budynku oraz dzięki działaniu wiatru powietrze dostaje się do budynku przez nieuszczelnności w oknach i drzwiach lub przez

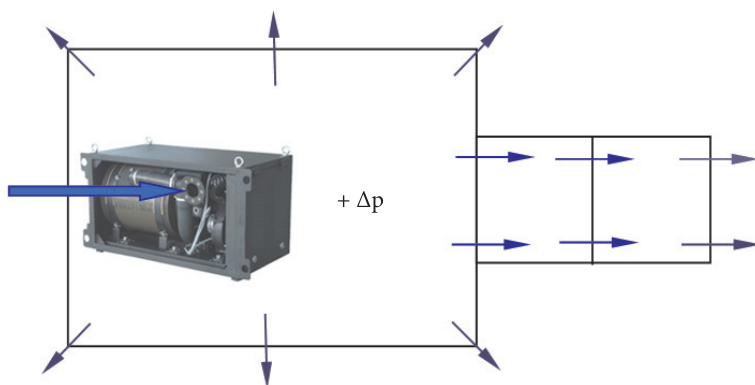
specjalne nawiewniki, a wydostaje przez kratki i kanały wentylacyjne. Skuteczność wentylacji naturalnej, zwanej też grawitacyjną, zależy od warunków atmosferycznych. **Podstawowym typem wentylacji jest wentylacja mechaniczna.** Wymiana powietrza jest wtedy niezależna od jakichkolwiek wpływów atmosferycznych. Wymuszony przepływ powietrza uzyskuje się dzięki zastosowaniu wentylatora. Zaletą wentylacji mechanicznej jest możliwość dostosowania jej wydajności do faktycznych potrzeb osób przebywających w pomieszczeniach, dzięki temu można stworzyć komfortowe warunki. Wentylacja mechaniczna może mieć wiele odmian zależnych od sposobu wymiany powietrza, kierunku jego ruchu w stosunku do wentylowanego pomieszczenia, różnicy ciśnienia wewnątrz i na zewnątrz pomieszczenia.

W zależności od sposobu wymiany powietrza wentylację mechaniczną możemy podzielić na:

- **ogólną**, czyli zapewniającą równomierną wymianę powietrza w całym pomieszczeniu,
- **miejscową**, przeciwdziałającą zanieczyszczeniom powietrza w miejscu ich wydzielenia. Do wentylacji miejscowej zaliczamy takie urządzenia jak:
 - **odciągi miejscowe**, urządzenia służące do usuwania zanieczyszczeń bezpośrednio w miejscu ich powstawania,
 - **nawiewy miejscowe** stosowane do wytwarzania w określonym miejscu warunków odmiennych od tych, które panują w całym pomieszczeniu,
 - **kurtyny powietrzne**, wykorzystywane do ochrony pomieszczeń przed przenikaniem zimnego powietrza zewnętrznego (w okresie zimy) bądź gorącego (w okresie lata) przez często otwierane bramy i drzwi wejściowe w budynkach przemysłowych lub użyteczności publicznej.

W zależności od kierunku ruchu powietrza w stosunku do wentylowanego pomieszczenia rozróżnia się wentylację mechaniczną:

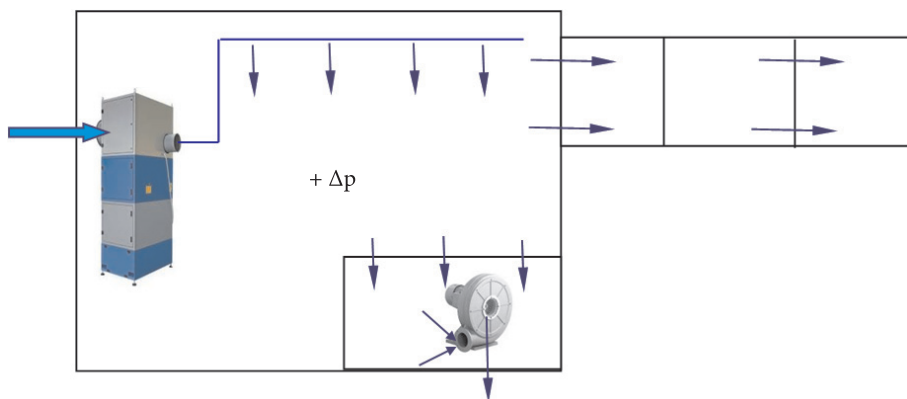
- **Wentylacja nawiewna** opiera się na zasadzie doprowadzenia do pomieszczenia wentylowanego powietrza zewnętrznego, oczyszczonego w specjalnych filtrach z substancji trujących, promieniotwórczych i biologicznych. Ten system nosi nazwę **filtrowentylacji** i stosuje się go w większości obiektów typu polowego. Obiekty takie nazywa się wentylowanymi, a urządzenia dostarczające powietrze urządzeniami filtrowentylacyjnymi. W czasie pracy tych urządzeń do obiektu podawane jest nieprzerwanie czyste powietrze, które miesza się z powietrzem wewnętrznym. Właczane powietrze wywołuje pewne niewielkie nadciśnienie (podporę), pod wpływem którego zmieszane powietrze wychodzi z pomieszczenia na zewnątrz przez zawory i inne nieuszczelnności, przewietrzając przedsionki. Schemat wentylacji nawiewnej obiektu pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat wentylacji nawiewnej

Źródło: [12]

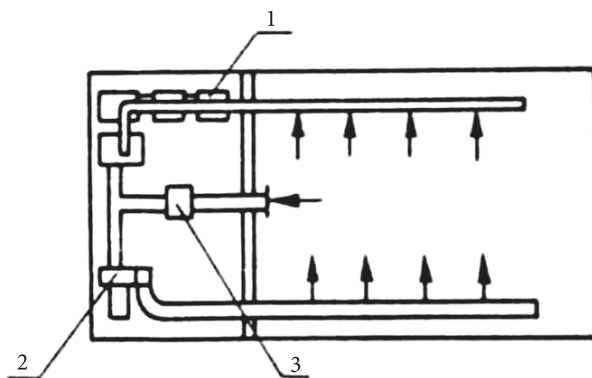
- **System nawiewno-wyciągowy** stanowi kombinację filtrowentylacyjnej i wyciągowej wentylacji, przy czym wentylacja wyciągowa posiada nieco mniejszą wydajność niż nawiewna w celu wytworzenia w pomieszczeniu nadciśnienia. System ten stosowany jest w większości obiektów stałych, fortyfikacyjnych i specjalnych i jest bardziej efektywny niż system nawiewny. Posiada jednak pewne wady, polegające na tym, że przy niespodziewanej awarii układu nawiewnego może wystąpić niebezpieczeństwo skażenia obiektu. Dlatego w tym przypadku musi być przewidziane automatyczne wyłączenie wentylacji wyciągowej. Oddzielne urządzenia wyciągowe mogą być zainstalowane w takich pomieszczeniach jak węzły sanitarne, akumulatorownie, magazyny itp. Schemat wentylacji nawiewno-wyciągowej pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat wentylacji nawiewno-wyciągowej

Źródło: [12]

- **System recyrkulacyjny** zapewnia ruch powietrza zamkniętego w pomieszczeniach. Recyrkulacja może być całkowita lub częściowa. Przy częściowej recyrkulacji pewna ilość powietrza wewnętrznego zasysana jest przez urządzenie filtrowentylacyjne (rys. 6).



Rys. 6. Schemat częściowej i całkowitej recyrkulacji powietrza w obiekcie: 1 — urządzenia regeneracyjne, 2 — wentylator, 3 — zawór regulujący zasysanie recyrkulującego powietrza

Źródło: [12]

Zastosowanie częściowej recyrkulacji jest celowe w dużych obiektach, gdzie można ustawić urządzenia do chłodzenia i osuszania powietrza.

Przy całkowitej recyrkulacji powietrze wewnętrzne oczyszcza się z dwutlenku węgla i wzbogaca w tlen w urządzeniach tlenowo-regeneracyjnych. Oprócz tego w dużych obiektach mogą być zainstalowane urządzenia klimatyzacyjne.

Warunkiem zastosowania systemu całkowitej recyrkulacji powietrza musi być zupełna izolacja pomieszczeń od otaczającej atmosfery. W celu utrzymania w obiekcie nieznacznego nadciśnienia (podpory) korzysta się z powietrza sprężonego w butlach.

Należy przy tym podkreślić, że system ten nie może być jedynym w obiekcie. Jest na ogół systemem rezerwowym, wykorzystywanym w przypadku, gdy niemożliwe jest zastosowanie nawiewnego systemu filtrowentylacyjnego, np. gdy nie wiadomo, czym skażone jest powietrze zewnętrzne, lub gdy z jakichkolwiek powodów nie mogą pracować urządzenia filtrowentylacyjne.

Przy pomocy urządzeń regenerujących w zasadzie można otrzymać powietrze o dowolnie założonej zawartości dwutlenku węgla i tlenu, a przy pomocy urządzeń klimatyzacyjnych — również o określonej wilgotności i temperaturze.

Zaletą tego systemu oczyszczania powietrza jest jego niezależność od stanu zewnętrznej atmosfery. W dobrze uszczelnionym i odpornym mechanicznie obiekcie zapewnia on długotrwałą ochronę przed dowolnymi środkami trującymi, promieniotwórczymi i biologicznymi.

Należy jednak pamiętać, że systemy filtrowentylacyjne obliczone są na dłuższe okresy działania i dlatego są tańsze niż systemy regenerujące. W zależności od różnicy ciśnień wewnątrz i na zewnątrz pomieszczenia wentylacja jest:

- **nadciśnieniowa** — strumień objętości powietrza nawiewanego jest większy od strumienia objętości powietrza wywiewanego,
- **podciśnieniowa** — strumień objętości powietrza nawiewanego jest mniejszy od strumienia objętości powietrza wywiewanego.

Należy zdawać sobie sprawę, że wentylacja mechaniczna może być potencjalnym źródłem skażeń lub zakażeń naturalnych lub celowych (terrorystyczne wprowadzenie do systemu wentylacji substancji niebezpiecznych dla zdrowia lub życia) przy niezabezpieczonej czepni powietrza. Metodą zabezpieczenia jest system filtracji lub filtrowentylacji.

W celu obniżenia szkodliwego stężenia aerozoli stałych i ciekłych (kurzu, pyłu, drobnoustrojów itp.) w powietrzu stosuje się najczęściej metodę filtracji przez:

- odpylacz filtracyjny, zatrzymujące cząstki aerozoli na materiale filtracyjnym;
- elektrofiltry (filtry elektrostatyczne), w których zastosowanie wysokiego napięcia powoduje jonizację zapyłonego powietrza i wychwytywanie naładowanych elektrostatycznie cząstek zanieczyszczeń przez przeciwnie naładowane elektrody;
- odpylacz mokre, obejmujące różne typy urządzeń, w których cząstki aerozoli osadzają się na kroplach lub warstwach cieczy i są następnie usuwane w postaci szlamu;
- komory sedymentacyjne, zbudowane z wielu umieszczonych nad sobą płytek (najczęściej z węgla drzewnego), na których osadzają się cząstki kurzu z przepływającego powietrza;
- cyklony, składające się z większej rury zwężającej się ku dołowi i umieszczonej wewnątrz mniejszej rury koncentrycznej, w których cząstki kurzu wypadają ze strumienia powietrza na zasadzie siły odśrodkowej;
- lampy emitujące promieniowanie ultrafioletowe o działaniu bakteriobójczym, stosowane do sterylizacji powietrza w pomieszczeniach zamkniętych;
- sposób kombinowany wykorzystujący dwie lub więcej technik, np. cyklon jako element wstępnego oczyszczania powietrza oraz filtrację na wysokoskutecznych filtrach klasy HEPA lub ULPA (filtry HEPA, filtry aerozoli koloidalnych o średniej i wysokiej skuteczności, oznaczone jako H10÷H14, filtry ULPA, filtry aerozoli koloidalnych o bardzo wysokiej skuteczności, oznaczone U15÷U17).

W celu obniżenia szkodliwego stężenia par substancji wysokotoksycznych w powietrzu stosuje się głównie metodę sorpcji, np. na sitach molekularnych, bentonitach, a najczęściej na sorbentach węglowych. Urządzenia takie nazywane są pochłaniaczami, a z wkładem filtracyjnym — filtropochłaniaczami. Mogą stanowić ochronę tylko przed jednym rodzajem środka toksycznego (np. amoniakiem lub tlenkiem węgla), ale znajdziemy też wielogazowe i uniwersalne.

Najważniejsze pytanie brzmi: ile powietrza należy dostarczyć do SOZ, aby zapewnić komfort osobom przebywającym w obiekcie? Według wymagań NATO dla obiektów ochrony zbiorowej według STANAG 2515 należy doprowadzić:

- min. 8,5 m³/h świeżego powietrza na osobę wypoczywającą
- oraz min. 17 m³/h świeżego powietrza na osobę pracującą.

W obwieszczeniu Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowania, Dz.U. z dnia 7 czerwca 2019 r. poz. 1065, czytamy:

§ 147.2. Wentylację mechaniczną lub grawitacyjną należy zapewnić w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi, w pomieszczeniach bez otwieranych okien, a także w innych pomieszczeniach, w których ze względów zdrowotnych, technologicznych lub bezpieczeństwa konieczne jest zapewnienie wymiany powietrza.

§ 148.3. W pomieszczeniu zagrożonym wydzieleniem się lub przenikaniem z zewnątrz substancji szkodliwej dla zdrowia bądź substancji palnej, w ilościach mogących stworzyć zagrożenie wybuchem, należy stosować dodatkową, awaryjną wentylację wywiewną, uruchamianą od wewnątrz i z zewnątrz pomieszczenia oraz zapewniającą wymianę powietrza dostosowaną do jego przeznaczenia, zgodnie z przepisami o bezpieczeństwie i higienie pracy.

§ 149.1. Strumień powietrza zewnętrznego doprowadzanego do pomieszczeń, niebędących pomieszczeniami pracy, powinien odpowiadać wymaganiom Polskiej Normy dotyczącej wentylacji, przy czym w mieszkaniach strumień ten powinien wynikać z wielkości strumienia powietrza wywiewanego, lecz być nie mniejszy niż **20 m³/h** na osobę przewidywaną na pobyt stały w projekcie budowlanym.

W badaniach mobilnych środków ochrony przed skażeniami stwierdzono, przy wydatku urządzenia filtrowentylacyjnego ok. 17 m³/h, zbyt wysokie stężenie CO₂ i pary wodnej w obiekcie, przy wydajności 20 m³/h uzyskano stężenie CO₂ i pary wodnej poniżej normy.

7. Podsumowanie

Sytuacja geopolityczna na świecie nie nastraja optymizmem. Groźba użycia broni masowego rażenia istnieje pomimo zawartych międzynarodowych porozumień i konwencji. Elementem ochrony wojsk i ludności przed oddziaływaniem skażeń, ale również broni konwencjonalnej są środki ochrony zbiorowej wcześniej przygotowane i wyposażone według wytycznych NATO.

W systemy wentylacji powinny być wyposażone wszystkie rodzaje **obiektów i budowli**, a więc mieszkalne i użyteczności publicznej (banki, dworce, sklepy, sale kinowe i konferencyjne, biurowce, szpitale itp.). Natomiast w systemy filtrowentylacji budowle typu specjalnego dla SZ RP, administracji lub adaptowane do ochrony ludności przed oddziaływaniem substancji wysokotoksycznych — obiekty ochrony zbiorowej. Obiekty do ochrony zbiorowej to obiekty typu stacjonarnego lub polowego zarówno o przeznaczeniu wojskowym, jak i cywilnym (schrony, ukrycia) oraz obiekty ruchome (wozy bojowe, pojazdy mechaniczne, okręty) specjalnie przygotowane i przystosowane do ochrony ludzi i sprzętu przed skutkami użycia broni konwencjonalnej, broni masowego rażenia oraz skażeniem toksycznymi substancjami przemysłowymi.

Większość krajowych obiektów ochrony zbiorowej była budowana i wyposażana w ubiegłym wieku. Zmieniły się technologie i wymagania, czyli obiekty te powinny zostać zmodernizowane zgodnie z nowymi wytycznymi z wykorzystaniem współczesnych opracowań technicznych i technologicznych. Będzie to dotyczyło głównie systemów oczyszczania powietrza oraz stref wejścia/wyjścia z obiektu, przede wszystkim w strefie kontrolowanych skażeń w tzw. ciągu osobowym (likwidacja skażeń osób, wyposażenia itp.).

Praca była współfinansowana ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki w ramach realizacji projektu UGB 794/WAT/2022.

Artykuł wpłynął do redakcji 20.04.2022. Zatwierdzono do publikacji 8.07.2022.

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

LITERATURA

- [1] HARMATA W., NYSZKO G., *Indywidualna ochrona przed skażeniami dróg oddechowych i skóry, cz. I*, Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, 4, 2010, 123-138.
- [2] NO-01-A006:2010 *Obrona przed bronią masowego rażenia – Terminologia*.
- [3] *Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD-3.8(B)*, Ministerstwo Obrony Narodowej, Centrum Doktryny i Szkolenia Sił Zbrojnych, Szkol. 978/2020.
- [4] *Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD/3.8*, MON, Chem. 396/2004.
- [5] *AJP-3.8: Allied Joint Doctrine for comprehensive chemical, biological, radiological and nuclear defence (Edition B)*, published by NATO Standardization Office in August 2018.
- [6] ATP-3.8.1, vol. II - Specialist CBRN Defence Capabilities, May 2014.
- [7] FM 3-11.4 - *Multiservice tactics, techniques and procedures for nuclear, biological and chemical (NBC) protection*, ed. 2003.
- [8] HARMATA W. et al., *Ekspertyza naukowo-techniczna w zakresie wymagania długoterminowego – EG 4405. Udoskonalone środki ochrony przed bronią masowego rażenia (NBC)*, Sygn. WIChiR – ONIW – 837/2002.

- [9] HARMATA W., SZMIGIELSKI R., *Wojskowa analiza taktyczno-techniczna i ekonomiczna „Typoszereg filtropochłaniaczy do ochrony zbiorowej z uwzględnieniem zagrożeń chemicznych i biologicznych”*, sygn. wewn. WICHiR-ONIW-939/2003.
- [10] HARMATA W. et al., *Badania wstępne oraz opracowanie projektu koncepcyjnego systemu schronów lekkich dla eskadr lotniczych*, Syg. WICHiR ONIW, nr 1154/2005.
- [11] NYSZKO G., *Trendy światowe i wymagania narodowe w zakresie użycia środków ochrony przed skażeniami w warunkach współczesnych*, rozprawa doktorska, AON, Warszawa 2007.
- [12] HARMATA W., *Ochrona przed skażeniami, cz. III. Podstawy teoretyczne i rozwiązania praktyczne w dziedzinie zbiorowych środków ochrony przed skażeniami*, WAT, Warszawa 2015.
- [13] ATP-70 *Ochrona zbiorowa w warunkach zagrożenia chemicznego, biologicznego, radiologicznego i jądrowego* (CBRN – COLPRO), Wydanie A, Wersja 1, kwiecień 2014.
- [14] STANAG 2515: 2009 *Collective protection in a chemical, biological, radiological and nuclear environment* (CBRN – COLPRO) – ATP-70.
- [15] AAP-21(B) *NATO glossary of chemical, biological, radiological and nuclear terms and definitions. English and French*, 1 July 2006.
- [16] HARMATA W., SZCZEŚNIAK Z., SOBIECH M., *Tunel do ćwiczeń z bronią chemiczną*, Biuletyn WAT, 66, 1, 2017, 169-186, DOI: 10.5604/01.3001.0009.9504.
- [17] STANAG 2984 *Graduated levels of chemical, biological, radiological and nuclear threats and associated protective measures*, 1 January 2007.
- [18] STANAG 2941: *Guidelines for Air and Ground Personnel Using Collective Protection Structures on Permanent Air Force Installations* 19, June 1992.
- [19] Dz.U. 2018, poz. 1286, Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, <https://isap.sejm.gov.pl/> [dostęp: kwiecień 2022].

WŁADYSŁAW HARMATA

Military Protection – Collective Protection Measures Against Contamination

Summary. This material presents the general principles of use and classification of collective means of protection against contamination. Functional and operational recommendations for collective protection measures are specified and the ventilation system for facilities is described depending on the type of facility.

Keywords: chemical sciences, security sciences, weapons of mass destruction, collective protection
DOI: 10.5604/01.3001.0016.0536

