

prof. dr hab. SŁAWOMIR CZERCZAK
Instytut Medycyny Pracy
im. prof. dr. med. Jerzego Nofera
90-950 Łódź
ul. św. Teresy 8

Zasady ustalania wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń chemicznych czynników szkodliwych w środowisku pracy

Słowa kluczowe: limit narażenia, wartości NDS, standardy higieniczne, system ustalania w Polsce.

Key words: exposure limits, MAC-values, hygienic standards, system of establishing in Poland.

Przedstawiono historię dotyczącą ustalania wartości NDS w Polsce. Omówiono system ustalania wartości NDS dla środowiska pracy w Polsce.

Pełne dokumentacje substancji chemicznych przygotowane w celu ustalenia standardów higienicznych są publikowane w kwartalniku Międzyresortowej Komisji „Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy”.

UWAGI WSTĘPNE

Historia ustalania dopuszczalnych limitów narażenia zawodowego sięga końca XIX w. W 1886 r. *Lehmann* pierwszy opublikował podstawy bezpiecznych stężeń w czasie krótkiego i długiego narażenia na niektóre substancje toksyczne występujące w przemyśle.

W 1919 r. *Lehmann* i *Flury* przedstawili teoretyczne aspekty zależności stężenie-efekt dla niektórych gazów drażniących drogi oddechowe. W 1920 r. w ZSRR określono i zatwierdzono wartości bezpiecznych stężeń dla sześciu związków chemicznych. Wykaz wartości NDS, w którym opublikowano pierwszą listę bezpiecznych wartości stężeń dla czterestu substancji, ukazał się w ZSRR w 1933 r. W tym samym roku w stanie Massachusetts (USA) opublikowano listę dopuszczalnych stężeń dla kilkunastu substancji chemicznych. W 1938 r. w Niemczech przedstawiono normatywy higieniczne dla stu związków chemicznych, w większości o działaniu drażniącym. Po II wojnie światowej wiele państw opracowywało swoje wykazy wartości NDS. Najobszerniejsze listy były publikowane w ZSRR i w USA. Wartości NDS dla tych samych związków nie były jednak w poszczególnych

państwach takie same, co wynikało z przyjęcia odmiennych filozofii ustalania wartości NDS. W 1959 r. odbyło się w Pradze Międzynarodowe Sympozjum Toksykologiczne zorganizowane przez International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC, Międzynarodową Unię Chemii Czystej i Stosowanej), w celu ustalenia jednolitej definicji najwyższego dopuszczalnego stężenia. Zawarte w tej definicji zalecenia nie zawsze jednak były przestrzegane w poszczególnych państwach i dlatego wartości NDS dla tego samego związku w dalszym ciągu się różniły.

Pierwszy polski wykaz normatywów higienicznych opublikowano w 1956 r. dla 14 substancji chemicznych, a w 1959 r. opublikowano wykaz normatywów higienicznych dla 127 substancji. Wykazy te były opracowywane przez grupę ekspertów na podstawie wiedzy eksperckiej, lecz bez przygotowania udokumentowanych propozycji wartości NDS. Polska jest jednym z państw, w których istnieje system ustalania normatywów higienicznych.

Zarządzeniem nr 33 ministrów: pracy, płac i spraw socjalnych oraz zdrowia i opieki społecznej z dnia 27 czerwca 1983 r. w sprawie powołania Międzyresortowej Komisji do spraw Aktualizacji Wykazu Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy powołano Międzyresortową Komisję. W 1996 r. rozporządzeniem prezesa Rady Ministrów z dnia 28 maja 1996 r. w sprawie powołania Międzyresortowej Komisji do spraw Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy powołano imiennie członków Międzyresortowej Komisji (DzU nr 61, poz. 284).

Obecny skład Międzyresortowej Komisji jest zamieszczony w rozporządzeniu prezesa Rady Ministrów z dnia 13 października 2003 r. w sprawie powołania Międzyresortowej Komisji do spraw Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy (DzU nr 178, poz. 1740).

Obowiązującym rozporządzeniem w sprawie wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy jest rozporządzenie ministra pracy i polityki społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. (DzU nr 217, poz. 1833).

LISTA NORMATYWÓW HIGIENICZNYCH

Polska lista normatywów higienicznych obejmuje trzy kategorie:

1) najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) – stężenie średnie ważone (C_w), którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego, określonego w kodeksie pracy wymiaru czasu pracy, przez okres jego aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń.

Stężenie średnie ważone (C_w) jest określane wzorem:

$$C_w = \frac{C_1 \cdot t_1 + C_2 \cdot t_2 + \dots + C_n \cdot t_n}{8},$$

w którym:

– C_1, C_2, \dots, C_n – średnie stężenia substancji oznaczone w poszczególnych okresach pomiarowych

– t_1, t_2, \dots, t_n – czas trwania poszczególnych okresów pomiarowych, w godzinach.

2) najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSCh) – średnie stężenie, które nie powinno spowodować ujemnych zmian w stanie zdrowia pracownika, jeżeli występuje w środowisku pracy nie dłużej niż 15 min i nie częściej niż 2 razy w czasie zmiany roboczej, w odstępie nie krótszym niż 1 h.

3) najwyższe dopuszczalne stężenie pułapowe (NDSP) – wartość stężenia, która ze względu na zagrożenie zdrowia lub życia pracownika nie może być w środowisku pracy przekroczona w żadnym momencie*.

Wykazy wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń chemicznych i pyłowych czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy zostały umieszczone w załączniku rozporządzenia ministra pracy i polityki społecznej w następujący sposób**:

A. SUBSTANCJE CHEMICZNE

Lp.	Nazwa i numer CAS substancji chemicznej (w nawiasach podano poprzednio stosowaną nazwę substancji)	Najwyższe dopuszczalne stężenie w mg/m ³ w zależności od czasu narażenia w ciągu zmiany roboczej		
		NDS	NDSch	NDSP
1.	Acetaldehyd (aldehyd octowy) [75-07-0]	5	–	45
2.	Acetanilid – pyły [103-84-4]	6	–	–
3.	Acetofenon [98-86-2]	50	100	–
4.	Aceton [75-05-8]	600	1800	–

B. PYŁY

Lp.	Nazwa i numer CAS czynnika szkodliwego dla zdrowia	Najwyższe dopuszczalne stężenie	
		(mg/m ³)	(włókien w cm ³)
1.	Pyły zawierające wolną (krystaliczna) krzemionkę < 50% [14808-60-7]; [14464-46-1]; [15468-32-3] a. pył całkowity b. pył respirabilny	2 0,3	–
2.	Pyły zawierające wolną (krystaliczna) krzemionkę od 2% do 50% [14808-60-7]; [14464-46-1]; [15468-32-3] a. pył całkowity b. pył respirabilny	4 1	– –
3.	Pyły zawierające azbest: a. pyły zawierające azbest chryzotylowy oraz pyły zawierające azbest chryzotylowy i inne minerały włókniste oraz pyły zawierające inne minerały włókniste z wyjątkiem krokidolitu, np. antygoryt włóknisty [1332-21-4] - pył całkowity - włókna respirabilne b. pyły zawierające krokidolit [12001-28-4] - pył całkowity - włókna respirabilne	1 – 0,5 –	– 0,2 – 0,2

Ponieważ w rozporządzeniu nie umieszczono w wykazach wartości normatywnych informacji dotyczących oznakowań substancji, które świadczą o kierunku jej toksycznego

* Pomiar stężenia powinien być prowadzony w sposób ciągły, a wszędzie tam, gdzie nie jest to możliwe – czas pobierania próbki powietrza powinien być jak najkrótszy i nie może przekraczać 15 min.

** Wykazy wartości podane przykładowo z załącznika.

działania, a także nie podano normy (lub metody analitycznej) oznaczania danej substancji w powietrzu na stanowiskach pracy, Międzyresortowa Komisja ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy publikuje co 2 lata informator „Czynniki szkodliwe w środowisku pracy – wartości dopuszczalne”. W punkcie 3. informatora „Wykaz wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń wraz z przyjętym przez Komisję oznakowaniem rodzaju działania i metodami oznaczania stężeń w powietrzu na stanowiskach pracy” są zamieszczane te brakujące dane, które są niezwykle cenne dla użytkownika wykazu NDS.

Poniżej przedstawiamy przykładową tabelę zamieszczoną w informatorze.

Lp.	Nazwa i numer CAS ^a substancji chemicznej (w nawiasach podano poprzednio stosowaną nazwę substancji)	Najwyższe dopuszczalne stężenie w mg/m ³ w zależności od czasu narażenia w ciągu zmiany roboczej			Oznakowanie	Normy (metody)
		NDS	NDSch	NDSP		
1.	Acetaldehyd (octowy aldehyd) [75-07-0]	5	–	45	Ft, I	PN-Z-0405/03 PiMOŚP, 2000, 3(25)
2.	Acetanilid – pyły [103-84-4]	6	–	–	–	PN-Z-04292:2000 PiMOŚP, 1998, z. 19
3.	Aceton [67-64-1]	600	1800	–	Ft	PN-79/Z-04057/01 PN-89/2-04023/02
4.	Acetonitryl [75-05-8]	70	140	–	Ft, Sk	PN-Z-04244-2:1996
5.	Akryladehyd (akroleina) [107-02-8]	0,2	0,5	–	C, Ft, Sk	PN-Z-04045-11:1994
6.	Akrylamid [79-06-1]	0,1	–	–	Ft, Rp, Sk	PiMOŚP, 1997, z. 17
7.	Akrylan 2-etyloheksyl [103-11-7]	35	100	–	A, I, Sk	PN-78/Z-04113/02
8.	Arsan (arsenowodór)	0,2	0,6	–	Ft, Rc	PN-Z-04011-7:2003 PiMOŚP 1998, z. 19

A – substancja o działaniu uczulającym; C – substancja o działaniu żrącym, (r-r) w roztworach; Ft – substancja działająca toksycznie na płód; I – substancja o działaniu drażniącym, (r-r) w roztworach; Sk – substancja wchłania się przez skórę; Rc – czynnik rakotwórczy dla ludzi; RP – czynnik prawdopodobnie rakotwórczy dla ludzi; PN – Polska Norma; PiMOŚP – Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy.

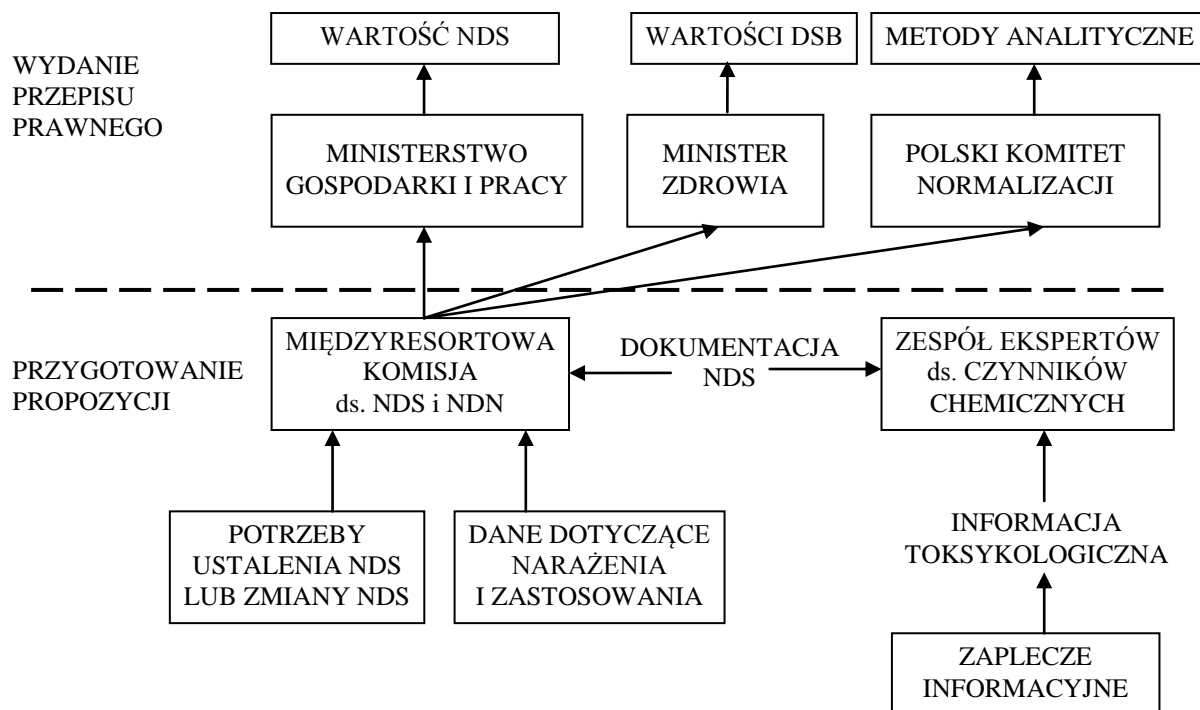
^a CAS (Chemical Abstracts Service Registry Number) jest oznaczeniem numerycznym pozwalającym jednoznacznie zidentyfikować substancję chemiczną.

ORGANIZACJA SYSTEMU

Procedura ustalania wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS)

Zespół Ekspertów ds. Czynników Chemicznych Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN dokonuje oceny merytorycznej dokumentacji NDS opracowanych przez poszczególnych członków Zespołu oraz ustala propozycje wartości NDS wyłącznie na podstawie kryteriów zdrowia i aktualnych danych naukowych.

Propozycje te wraz z dokumentacjami są przedstawiane na posiedzeniu Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN, w której skład wchodzi przedstawiciele resortów zdrowia i pracy, gospodarki, ochrony środowiska oraz przedstawiciele przemysłu i instytucji naukowych. Następnie propozycje te zostają w formie wniosku skierowane do ministra gospodarki i pracy (rys.1).



Rys.1. Schemat organizacji systemu ustalania wartości NDS w Polsce

Po zatwierdzeniu propozycji wartości NDS przez ministra gospodarki i pracy są one publikowane w Dzienniku Ustaw w formie rozporządzenia ministra gospodarki i pracy w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy i stają się normatywami higienicznymi obowiązującymi prawnie na terenie Polski. Wartości te stanowią wytyczne dla projektantów nowych oraz modernizowanych technologii i wyrobów, kryteria do oceny warunków pracy, a także są podstawą do prowadzenia planowanej działalności profilaktycznej w zakładach pracy. Zakłady pracy są bowiem zobowiązane do badania wielkości stężeń substancji toksycznych wymienionych w wykazie rozporządzenia, w celu ustalenia stopnia narażenia pracowników oraz ewidencjonowania wyników badań. Wynikiem takiej działalności jest poprawa warunków pracy. W zależności od przyjętej filozofii możliwe jest ustalanie wartości dopuszczalnych stężeń czynników chemicznych na różnym poziomie bezpieczeństwa dla narażanych grup pracowników, to jest na poziomie:

- bezpiecznym, który w założeniu ma chronić wszystkich pracowników przed zmianami w stanie zdrowia wynikającymi z narażenia zawodowego, zgodnie z istniejącym poziomem wiedzy
- granicznym, który zapewnia bezpieczeństwo prawie wszystkim narażonym w grupach pracownikom, z wyjątkiem osób o zwiększonej wrażliwości na ich działanie, nabytej w trakcie życia lub uwarunkowanej genetycznie
- kompromisu między możliwościami utrzymania wartości normatywnych a wymaganiami zdrowotnymi.

Merytoryczne podstawy ustalania wartości normatywnych stanowią wyniki:

- badań epidemiologicznych, w których określono zależność między wielkością i czasem trwania narażenia zawodowego a jego skutkami zdrowotnymi
- obserwacji lekarskich grup narażanych na konkretne czynniki szkodliwe dla zdrowia w warunkach przemysłowych
- badań na zwierzętach doświadczalnych.

Należy stwierdzić, że podstawę dość poważnej liczby ustalonych wartości NDS stanowią jedynie wyniki badań doświadczalnych przeprowadzonych na zwierzętach.

Należy również zaznaczyć, że właściwie wszystkie zasady przyjmowane podczas określania limitów narażenia są oparte na ocenie ryzyka pojawienia się zmian w stanie zdrowia ludzi w postaci szkodliwego skutku lub nawet zmian, które taki skutek z różnym prawdopodobieństwem zapowiadają.

Podejście do oceny ryzyka związanego z toksycznością układową różni się od podejścia stosowanego w ocenie ryzyka wywołanego czynnikami o działaniu nieprogowym, do których m.in. należą czynniki rakotwórcze.

Z czynnikami o działaniu systemowym jest związana od dawna hipoteza indywidualnego progu, która zakłada, że może być przez organizm tolerowany pewien zakres narażenia lub wchłoniętych dawek – od wartości zerowej do jakiejś określonej wartości bez istotnego prawdopodobieństwa szkodliwego skutku lub zmian, które taki skutek zapowiadają.

Samo pojęcie szkodliwego skutku jest dosyć nieprecyzyjne i zależy od przyjętej definicji zdrowia. W rzeczywistości taki czynnik zewnętrzny, jak np. substancja chemiczna, może wywołać, po przedostaniu się do organizmu nawet w niewielkiej ilości – wiele zmian odbiegających od stanu normalnego, których znaczenie dla indywidualnego stanu zdrowia może być różne lub całkiem nieznanne, jeśli mechanizm toksycznego działania nie został zbadany. Zazwyczaj zalecany limit narażenia wywodzi się tylko z jednego mierzalnego toksycznego efektu, który uznano za najbardziej czuły spośród innych obserwowanych zmian i mający znaczenie dla normalnego funkcjonowania organizmu. Skutek taki jest określony jako krytyczny, określony narząd lub układ (system), z którego pochodzi ten skutek, nazwano narządem (układem) krytycznym, a stężenie (niekiedy w krytycznym narządzie lub układzie) – stężeniem krytycznym.

W wypadku takich czynników rakotwórczych, jak chemiczne kancerogeny czy promieniowanie jonizujące, uznano, we wczesnych latach sześćdziesiątych, że nie istnieje dla nich próg działania. Oznacza to, że każde narażenie na taki czynnik, nawet bardzo małe (teoretycznie aż do jednej cząsteczki substancji rakotwórczej) ma możliwość wywołania nowotworu. Jest to do chwili obecnej zagadnienie dyskusyjne, chociażby z tego względu, że pojedyncze cząsteczki mają znikome szanse dotarcia do receptora. Poza tym można udowodnić na podstawie wyników badań epidemiologicznych, że bardzo małe wielkości narażenia na czynniki rakotwórcze nie wywołują widocznego skutku, przynajmniej w okresie obserwacji określonej grupy narażonych osób. Niemniej jednak pogląd o bezprogowym działaniu czynników rakotwórczych utrwalił się i spowodował, że w wielu państwach nie wyznacza się dla czynników rakotwórczych zalecanych limitów narażenia zawodowego, zalecając, w razie niemożności ich wyeliminowania – utrzymywanie najmniejszych, jak to tylko jest możliwe, wielkości stężeń substancji.

W środowisku pracy zalecane limity narażenia są oparte na koncepcji akceptowanego społecznie ryzyka, zwykle w granicach od 10^{-2} do 10^{-5} , w zależności od tego czy ryzyko to dotyczy częstości występowania zmian w stanie zdrowia w ciągu roku, czy też w całym okresie życia.

Ekspertci opracowujący propozycje wartości NDS i stosujący zasadę szacowania ryzyka zdrowotnego powinni znać następujące pojęcia:

– dawka szkodliwa (*adverse effect*) – nieodwracalna zmiana biologiczna pojawiająca się w trakcie lub po zakończeniu narażenia. Jest to zaburzenie czynnościowe lub uszkodzenie morfologiczne, które może wpływać na wydolność całego organizmu lub może zmniejszyć jego sprawność w warunkach dodatkowego obciążenia, a także może zwiększyć jego wrażliwość na działanie innych czynników

– poziom bez obserwowanego działania, NOEL (*non observed effect level*) – poziom narażenia, przy którym brak statystycznie lub biologicznie istotnego wzrostu częstości lub nasilenia skutku w narażanej populacji w porównaniu z wynikami z grupy kontrolnej

– poziom bez obserwowanego działania szkodliwego, NOAEL (*non observed adverse effect level*) – w zależności dawka-odpowiedź dla substancji o działaniu progowym największa dawka albo wielkość narażenia, przy których nie występuje statystycznie lub biologicznie istotny wzrost częstości lub nasilenia skutków szkodliwych czy ich nasilenia (ciężkości) w narażanej populacji w porównaniu z wynikami z grupy kontrolnej. Niektóre skutki mogą być wywołane na tym poziomie narażenia, ale nie są one rozważane jako skutki szkodliwe lub prekursorzy swoistych skutków szkodliwych

– najniższy obserwowany poziom działania szkodliwego, LOAEL (*lowest observed adverse effect level*) – w zależności dawka-odpowiedź dla substancji o działaniu progowym najmniejsza dawka lub wielkość narażenia, przy których występuje statystycznie lub biologicznie istotny wzrost częstości występowania skutków szkodliwych lub ich nasilenia (ciężkości) w narażanej populacji w porównaniu do wyników z grupy kontrolnej

– dawka wyznaczająca (*benchmark dose*) – pojęcie operacyjne stosowane do oceny ryzyka związanego z narażeniem na substancje chemiczne nierakotwórcze. Oznacza dolną granicę przedziału ufności, np. 95% dla wielkości narażenia (lub dawki pobranej), które może spowodować niewielki wzrost, np. 5 lub 10% częstości występowania skutków zdrowotnych

– współczynnik niepewności, *Ufs (uncertainty factor)* parametr stosowany do wyznaczania bezpiecznych w założeniu limitów narażenia środowiskowego dla ludzi. Przy jego ustalaniu uwzględnia się: *A* – różnice wrażliwości osobniczej człowieka; *B* – współczynnik związany z różnicami wynikającymi z drogi podania; *C* – współczynnik związany z przejściem z badań krótkoterminowych do badań przewlekłych; *D* – współczynnik związany ze stosowaniem wartości LOAEL zamiast wartości NOAE; *E* – współczynnik modyfikacyjny (dotyczy oceny eksperta o kompletności danych oraz potencjalnych skutkach odległych). Współczynnik niepewności oblicza się na podstawie wzoru:

$$UF_s = A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E.$$

Wartości współczynników niepewności dla zawodowych normatywów higienicznych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1.

Wartości współczynników niepewności

Współczynnik	Przyjmowane wartości
A	do 2
B	a) do 10 w razie korzystania z wyników badań wykonywanych drogą inną niż inhalacyjną b) do 3 w razie korzystania z wyników badań wykonywanych drogą inhalacyjną
C	do 3
D	do 3
E	do 5

Wylizanie wartości NDS dla substancji o działaniu drażniącym

Wartość NDS dla substancji o działaniu drażniącym (wyłącznie) obliczamy:

1) na podstawie wzoru:

$$\text{NDS} = \frac{\text{NOAEL}}{\text{współczynnik niepewności}} .$$

Współczynnik niepewności do 5 wynika z różnic międzygatunkowych i wrażliwości osobniczych.

2) na podstawie danych dotyczących wartości RD₅₀*** (tab. 2).

Tabela 2.

Skutki działania drażniącego w zależności od wartości RD₅₀

Stężenie substancji w powietrzu	Przewidywane skutki działania drażniącego substancji dla ludzi
RD ₅₀	stężenie tolerowane przez człowieka
1/10 RD ₅₀	stężenie powodujące niewielkie podrażnienie oczu, nosa i gardła
1/100 RD ₅₀	brak lub bardzo słaba percepcja działania drażniącego

Powyższe dane służą do wyznaczenia wartości najwyższego dopuszczalnego stężenia (NDS) dla substancji drażniących drogi oddechowe. Wartość NDS jest przyjmowana w zakresie od 1/10 do 1/100 stężenia substancji drażniącej u zwierząt wyznaczonej jako wartość RD₅₀.

3) na podstawie testu RD₅₀ opracowanego przez higienistów amerykańskich w 1994 r. Umożliwił on obliczenie, że średnia wartość współczynnika uzależniającego wartość NDS (TLV) od wartości RD₅₀ wynosi 1/30 (TLV=1/30 RD₅₀).

Wylizanie wartości NDS dla substancji o działaniu układowym

Wartość NDS obliczamy na podstawie:

1) wielkości dawki substancji, która została pobrana przez zwierzę, w miligramach na kilogram na dzień (NOAEL), na podstawie wzoru:

$$\text{NOAEL} = C_1 \cdot \frac{V \cdot T}{W} ,$$

w którym:

- V – ilość wdychanego powietrza przez zwierzę, w metrach sześciennych na dzień
- T – czas narażenia dziennego, w dobach
- W – średnia masa zwierzęcia poddanego badaniom, w kilogramach
- C_1 – wartość stężenia, w miligramach na metr sześcienny.

*** RD₅₀ – dawka substancji drażniącej pobierana z powietrzem wdychanym, która powoduje redukcję częstości akcji oddechowej do 50% wartości należnej (wyjściowej).

2) przekształcenia dawki, która uległa pobraniu przez zwierzę, na ekwiwalentne dzienne stężenie dla człowieka pobrane w ciągu 8 h (C_2), w miligramach na metr sześcienny, na podstawie wzoru:

$$C_2 = \frac{\text{NOAEL} \cdot W_H}{V_H},$$

w którym:

- V_H – masa człowieka, 70 kg
- W_H – objętość powietrza wdychanego przez człowieka w ciągu 8 h
- C_2 – stężenie, w miligramach na metr sześcienny.

Po podstawieniu do wzoru, otrzymujemy:

$$\text{NDS} = \frac{C_2}{UF},$$

w którym:

- wartość NDS, w miligramach na metr sześcienny
- UF – suma współczynników niepewności.

Wyliczanie wartości NDS dla substancji rakotwórczych

Do opracowania propozycji wartości NDS dla substancji rakotwórczych stosuje się szacowanie ryzyka zdrowotnego.

Ocena ryzyka wynikającego z narażenia ludzi na substancje rakotwórcze na podstawie wyników badań przeprowadzonych na zwierzętach opiera się na kilku następujących założeniach:

- zależności między podaną dawką mierzoną we właściwych jednostkach i częstością zachorowania na raka u zwierząt, która jest określana na podstawie wyników biologicznych doświadczeń na zwierzętach
- zarówno jednostka substancji wyrażona w miligramach na kilogram ciężaru ciała, jak też w miligramach na metr kwadratowy powierzchni ciała na dzień mogą być właściwymi jednostkami dla ekwiwalentnej dawki substancji rakotwórczej
- zależność dawka-odpowiedź u ludzi jest taka sama jak u zwierząt
- rakotwórcza odpowiedź po podaniu małych dawek jest liniowa.

Eksperti opracowujący propozycję wartości NDS dla substancji o działaniu rakotwórczym powinni znać następujące pojęcia:

- ryzyko, *R (risk)* – oczekiwana lub rzeczywista częstość występowania (prawdopodobieństwo) określonego, szkodliwego skutku zdrowotnego w warunkach narażenia na czynnik chemiczny lub inny, który stanowi zagrożenie dla zdrowia człowieka
- ryzyko akceptowane (*accepted risk*) – oczekiwane prawdopodobieństwo wystąpienia choroby lub uszkodzenia ciała akceptowane przez jednostkę
- ryzyko jednostkowe (*unit risk*) – oczekiwany przyrost wartości ryzyka dodatkowego nowotworu w okresie całego życia spowodowany narażeniem w ciągu tego czasu na dany czynnik występujący w powietrzu o stężeniu $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lub w wodzie o stężeniu $1 \mu\text{g}/\text{l}$
- współczynnik nachylenia, *SF (slope factor)* – tangens kąta nachylenia krzywej zależności dawka-odpowiedź w zakresie małych dawek z dodatnim kierunkiem osi OX. Jeżeli nie można określić przebiegu tej zależności w małym zakresie dawek, to współczynnik na-

chylenia określa przebieg krzywej od dawki "zero" (i zerowego ryzyka dodatkowego) do dawki powodującej 1% ryzyka dodatkowego. Jednostką współczynnika nachylenia jest zwykle miligram na kilogram masy ciała na dzień.

Wyliczanie wartości NDS:

1) z danych współczynnika kierunkowego prostej dawka-odpowiedź, SF (*slope factor*) na podstawie wzorów:

$$R = SF \cdot D, \quad D = \frac{R}{SF},$$

w których:

- R – ryzyko
- D – dawka średnia całżyciowa, w miligramach na kilogram masy ciała razy dzień
- SF – *slope factor*.

Po podstawieniu wartości do wzoru, otrzymujemy:

$$NDS = D \cdot \frac{24}{8} \cdot \frac{365}{240} \cdot \frac{70}{40} \cdot \frac{1}{20} \cdot 70,$$

w którym: D – dawka średnia całżyciowa, w miligramach na kilogram masy ciała razy dzień; 24 – godziny (doba); 8 – godziny pracy; 365 – liczba dni w roku; 240 – liczba dni pracy; 70 – lata życia; 40 – lata pracy; 20 – wentylacja płuc człowieka; 70 – masa ciała człowieka, w kilogramach.

2) z danych ryzyka jednostkowego, UR (*unit risk*) na podstawie wzorów:

$$R = UR \cdot C, \quad C = \frac{R}{UR},$$

w których: R – ryzyko; C – wartość średniego stężenia w okresie całego życia, w mikrogramach na metr sześcienny; UR – ryzyko jednostkowe.

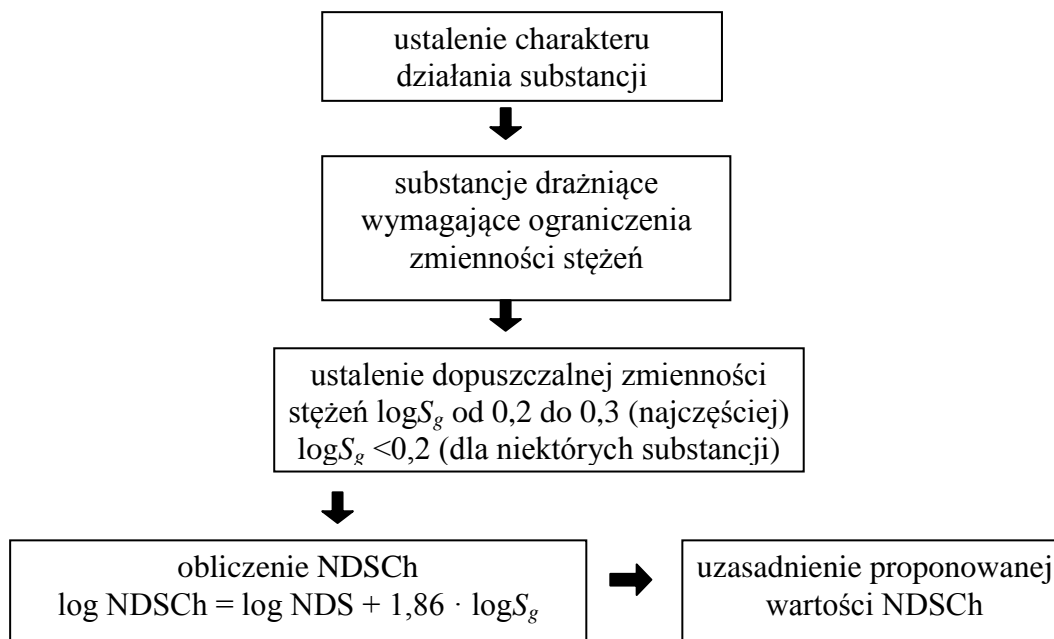
Po podstawieniu wartości do wzoru, otrzymujemy:

$$NDS = C \cdot \frac{24}{8} \cdot \frac{365}{240} \cdot \frac{70}{40},$$

w którym: C – średnie stężenie w okresie całego życia, w mikrogramach na metr sześcienny; 24 – godziny (doba); 8 – godziny pracy; 365 – liczba dni w roku; 240 – liczba dni pracy; 70 – lata życia; 40 – lata pracy.

Procedura ustalania wartości najwyższego dopuszczalnego stężenia chwilowego (NDSCh)

Procedurę ustalania wartości NDSCh w przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat organizacji procedury ustalania wartości NDSCh

Procedura ustalania wartości najwyższego dopuszczalnego stężenia pułapowego (NDSP)

Wartość NDSCh ustalamy na podstawie wzoru:

$$\log \text{NDSP} = \log \cdot \frac{\text{NOAEL lub LOAEL}}{UF_s} + 1,86 \cdot \log S_g ,$$

w którym:

– $\log S_g$ – logarytm standardowego geometrycznego odchylenia stężeń krótkoterminowych.

DOKUMENTACJE SUBSTANCJI CHEMICZNYCH

Dokumentacje substancji chemicznych przygotowane przez ekspertów w celu ustalenia wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS) lub natężeń (NDN) są sukcesywnie publikowane w kwartalniku Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy – wydawnictwie Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN.

Każda dokumentacja zawiera informacje na temat:

- charakterystyki substancji (jej właściwości fizykochemicznych), zastosowania oraz narażenia zawodowego
- działania toksycznego na ludzi (obserwacji klinicznych, zatruc ostrych i przewlekłych oraz badań epidemiologicznych)
- działania toksycznego na zwierzęta (toksyczności ostrej i przewlekłej)
- odległych efektów toksycznych (działania mutagennego, rakotwórczego, embriotoksycznego, fetotoksycznego i teratogennego oraz wpływu na rozrodczość)
- toksykokinetyki (wchłaniania, rozmieszczenia w organizmie, metabolizmu i wydalania)
- mechanizmu działania toksycznego

- działania łącznego
- zależności efektu toksycznego od wielkości narażenia
- wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń (istniejących wartości NDS oraz podstaw zaproponowanej nowej wartości NDS) w powietrzu na stanowiskach pracy oraz wartości dopuszczalnego stężenia w materiale biologicznym (DSB)
 - zakresu badania wstępnego, zakresu i częstość badań okresowych, zakresu badania końcowego, narządów (układów) krytycznych oraz przeciwwskazań lekarskich do zatrudnienia
 - metod analitycznych oznaczania stężeń substancji chemicznych w powietrzu na stanowisku pracy
 - piśmiennictwa dotyczącego danej substancji chemicznej.

W celu przygotowania dokumentacji NDS eksperci korzystają z:

- baz danych: TOXLINE, MEDLINE, CANCER-CD, OSH-ROM, NIOSTIC, CHEM-BANK, RTECS, HSDB, ANALITICAL ABSTRACTS, CCINFOdisc, IRPTC, CHEMICAL ABSTRACTS, EINECS, IUCLID, POISINDEX i TOMES PLUS
- dokumentacji wartości NDS innych państw (np. z USA, Niemiec, Szwecji, Holandii, Unii Europejskiej)
 - kryteriów zdrowotnych środowiska WHO
 - dokumentacji IARC
 - dokumentacji NTP
 - profili toksykologicznych US ATSDR
 - innych opracowań
 - danych niepublikowanych.

PODSUMOWANIE

Ustalone wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń czynników chemicznych są kryteriami stosowanymi w ocenie warunków pracy, a także stanowią podstawę do prowadzenia działalności profilaktycznej w zakładach pracy. W wypadku ustalenia wartości NDS dla danej substancji, zakłady pracy są zobowiązane do badania stężenia tej substancji w powietrzu stanowiska pracy z częstością niezbędną do ustalenia stopnia narażenia pracowników oraz ewidencjonowania wyników badań.

W celu analizy zanieczyszczeń powietrza niezbędne jest monitorowanie stężeń substancji szkodliwych w środowisku pracy, na które składa się pobranie próbek powietrza, analiza pobranego materiału oraz interpretacja danych. Zasady postępowania podczas oceny narażenia zawodowego powinny regulować kwestie wyboru miejsca pobierania, niezbędnej liczby próbek, czasu pobierania próbki oraz rozłożenia próbek w czasie, uwzględniając charakter przyjętych normatywów higienicznych. Przed przystąpieniem do analizy powietrza konieczne jest dokładne zapoznanie się z przebiegiem procesu technologicznego i ustalenie, jakie substancje są w tym procesie stosowane i w jakiej postaci mogą przedostawać się do powietrza. Od uzyskania prawidłowych danych zależy wybór odpowiedniej metody oznaczania stężeń substancji chemicznych w powietrzu stanowiska pracy. Uzyskanie rzetelnych danych o narażeniu badanej populacji metodą środowiskowego monitorowania powietrza jest związane z wieloma niedogodnościami. Szczególnie istotna jest metoda dozymetrii indywidualnej, która umożliwi pomiar stężenia zanieczyszczeń w strefie oddychania.

Próbki powietrza powinny być pobrane w sposób umożliwiający ocenę stężenia średniego ważonego dla całej zmiany roboczej oraz stężeń chwilowych. Na podstawie pomiarów obliczonych w postaci wskaźników narażenia należy przeprowadzić ocenę zgodności warun-

ków pracy z wartościami: najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS), najwyższych dopuszczalnych stężeń chwilowych (NDSCh) i najwyższych dopuszczalnych stężeń pułapowych (NDSP). Warunki pracy mogą być uznane za bezpieczne, jeżeli stężenie średnie ważone lub obliczone wskaźniki narażenia, np. górna granica przedziału ufności dla średniej z wyników pomiaru lub górna granica przedziału ufności dla stężenia średniego ważonego dla całej zmiany roboczej, nie przekraczają wartości NDS dla danej substancji.

Jeżeli pracownik lub grupa pracowników w czasie zmiany roboczej narażeni są kolejno lub jednocześnie na więcej niż jedną substancję o podobnym charakterze działania toksycznego, np. substancje o działaniu hepatotoksycznym, drażniącym czy neurotoksycznym, to współczynnik łącznego narażenia – obliczony jako suma ilorazów stężeń poszczególnych substancji i odpowiadających im wartości NDS – nie powinien przekraczać jedności zgodnie ze wzorem:

$$\frac{\bar{X}_{g1}}{NDS_1} + \frac{\bar{X}_{g2}}{NDS_2} + \dots + \frac{\bar{X}_{gn}}{NDS_n} \leq 1,$$

w którym:

- $\bar{X}_{g1}, \bar{X}_{g2}, \dots, \bar{X}_{gn}$ – średnie geometryczne stężenia poszczególnych substancji
- $NDS_1, NDS_2 \dots NDS_n$ – odpowiednie wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń oznaczanych substancji.

Odstępstwa od tego postępowania dotyczą przypadków działania niezależnego, antagonistycznego, rakotwórczego lub potęgowania działania toksycznego jednej substancji przez substancję inną, która występuje w powietrzu w ciągu tej samej zmiany roboczej.

Warunki pracy należy uznać za szkodliwe, jeżeli stężenie średnie ważone lub wskaźniki narażenia są większe od wartości NDS dla danej substancji, a także gdy współczynnik łącznego narażenia jest większy od jedności.

PIŚMIENNICTWO

Czerczak S. i in. (1994) Metodologia ustalania zawodowych i środowiskowych normatywów higienicznych. *Medycyna Pracy* 43(2).

Podstawy metod oceny ryzyka zawodowego (1995) Pod red. B. Barańskiego, W. Szymczaka. Łódź, Instytut Medycyny Pracy.

Rozporządzenie prezesa Rady Ministrów z dnia 28 maja 1996 r. w sprawie powołania Międzyresortowej Komisji do spraw Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy. DzU nr 61, poz. 284.

Rozporządzenie ministra pracy i polityki społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 217, poz. 1833.

Rozporządzenie prezesa Rady Ministrów z dnia 13 października 2003 r. w sprawie powołania Międzyresortowej Komisji do spraw Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy. DzU nr 178, poz. 1740.

Słownik terminów stosowanych w toksykologii (1994) Kraków, Wyd. „Secesja”.

Więcek E. (2000) Podstawy oceny środowiska pracy z wykorzystaniem wartości krótkoterminowych najwyższych dopuszczalnych stężeń chwilowych i najwyższych dopuszczalnych stężeń pułapowych. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy nr 4(26).

Zarządzenie nr 33 ministrów: pracy, płac i spraw socjalnych oraz zdrowia i opieki społecznej z dnia 27 czerwca 1983 r. w sprawie powołania Międzyresortowej Komisji do spraw Aktualizacji Wykazu Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy (dane niepublikowane).

SŁAWOMIR CZERCZAK

**The principles of establishing MAC values of harmful chemical compounds
in the working environment**

A b s t r a c t

The paper presents the history of hygienic standards in Poland, as well as the current situation, and a system of establishing Polish MAC values for chemical compounds in the working environment.

Full documentation is successively published in Polish in the Principles and Methods of Assessing the Working Environmental.