

# Ocena narażenia dermalnego

dr MAŁGORZATA POŚNIAK  
dr inż. MAGDALENA GALWAS

Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy

Dermalne narażenie zawodowe na szkodliwe substancje chemiczne stanowi zauważalny problem dla wielu grup zawodowych w rolnictwie, przemyśle oraz w sektorze usług. Ocena zawodowego narażenia dermalnego jest jednym z elementów oceny ryzyka związanego ze stosowaniem czynników chemicznych w pracy. Jest ona bardzo istotna z uwagi na skutki tego narażenia, które mogą mieć charakter miejscowy i/lub układowy.

Celem artykułu jest przedstawienie głównych założeń dotyczących oceny narażenia dermalnego na substancje chemiczne. W artykule omówiono mechanizmy wchłaniania przez skórę oraz czynniki wpływające na dermalną absorpcję substancji chemicznych. Przedstawiono definicję narażenia dermalnego oraz zasady klasyfikacji i oznakowania substancji wchłanianych przez skórę. Zaprezentowano także zasady i metody pomiaru niezbędne do oceny zawodowego narażenia dermalnego.

## Assessment of dermal exposure

Dermal occupational exposure to harmful chemical substances is a significant problem for many employees in agriculture, industry and services. Assessment of dermal exposure is an element of an assessment of occupational exposure to chemical substances. This assessment is important because dermal contamination can induce local and/or system responses.

The aim of this article is to draw attention to the principles of assessing dermal exposure. It discusses skin absorption, some factors that influence dermal exposure and absorption, a definition of dermal exposure, and regulations of classification and notification. This article also provides information on the principles and methods of measuring dermal exposure in the workplace.

## Wprowadzenie

Powszechnie stosowaną metodą do badania zawodowego i środowiskowego narażenia człowieka na czynniki chemiczne w Polsce, jak również w innych państwach Unii Europejskiej, jest metoda ukierunkowana na ilościową ocenę gazów, par, aerozoli lub pyłów wchłanianych przez układ oddechowy. W badaniach tych pomijane są z reguły inne drogi wchłaniania tych czynników – przez przewód pokarmowy, iniekcje oraz przez nieuszkodzoną skórę, czyli absorpcja dermalna.

Narażenie dermalne definiowane jest jako ilość substancji chemicznej mającej kontakt z zewnętrznymi warstwami skóry, która może być przez nią absorbowana, wykazując działanie układowe i/lub może powodować działanie miejscowe, czyli różnego rodzaju zmiany chorobowe na skórze. Kontakt substancji chemicznych ze skórą może prowadzić do występowania podrażnień, wysypki, trądziku, a przy długotrwałym narażeniu – do owrzodzenia czy też wylewów podskórnych, a także oparzeń i uszkodzenia właściwości ochronnych skóry. W niektórych scenariuszach narażenia mogą nastąpić interakcje pomiędzy inhalednymi i dermalnym oddziaływaniem substancji chemicznych na żywe organizmy.

W przypadku narażenia na substancje chemiczne należy więc brać pod uwagę możliwość występowania uczuleń układu oddechowego na skutek kontaktu ich ze skórą.

Interakcja skóry z otaczającymi zanieczyszczeniami środowiskowymi jest zależna od wielu czynników i wykazuje działanie wielokierunkowe, co powoduje, że ocena narażenia dermalnego jest trudna do przeprowadzenia, a jej wyniki mogą być różnie interpretowane.

Z uwagi na konieczność uwzględniania narażenia dermalnego na substancje chemiczne w ocenie ryzyka zawodowego, jak również szkodliwych skutków w stanie zdrowia pracowników spowodowanych tym narażeniem, w ostatnich latach wiele prac badawczych jest poświęconych problemom związanym z metodami pomiaru i oceny narażenia dermalnego na czynniki chemiczne w środowisku pracy [1-9]. Przeprowadzanie badań w celu oceny ilości substancji zdeponowanej na skórze pracowników i ilości wchłoniętej przez nieuszkodzoną skórę w warunkach narażenia zawodowego jest dla wielu substancji niezbędne, a wyniki tych badań stanowią przede wszystkim wskazówki do prawidłowego doboru środków ochrony indywidualnej, a w przypadku substancji wchłaniających się przez skórę – do oceny wielkości dawki wchłoniętej tą drogą, która czasami znacząco zwiększa dawkę substancji wchłoniętej inhalednie do organizmu pracownika podczas wykonywania czynności zawodowych.

Możliwość przedostawania się organicznych substancji do krwi w wyniku kontaktu ich ze skórą zostało stwierdzone po raz pierwszy dopiero w 1920 r. w badaniach tetraetylu ołowiu. Obecnie wyjaśnienie zagadnień dermalnej ekspozycji pochodzi głównie z badań szkodliwych efektów działania pestycydów. Dzięki wydaniu specjalnego numeru „Annals of Occupational Hygiene” i międzynarodowej konferencji dotyczącej zawodowego i środowiskowego narażenia przez skórę na chemikalia, zorganizowanej przez National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH), zainteresowanie narażeniem dermalnym znacząco wzrosło [5].

Dermalne narażenie zawodowe na szkodliwe substancje chemiczne stanowi poważny problem dla wielu grup zawodowych – w rolnictwie, przemyśle oraz w sektorze usług, przede wszystkim dla pracowników zatrudnionych przy odtłuszczaniu i malowaniu materiałów, czy też fryzjerów, sprzątaczek, pracowników zbierających owoce. Skutki tego narażenia mogą być bardzo różne – od małych przy okazjonalnym

stosowaniu niewielkich ilości rozcieńczonych roztworów, do bardzo rozległych przy powtarzającym się kontakcie skóry rąk i przedramion ze stężonymi roztworami.

Coraz większe jest zainteresowanie wchłanianiem przez skórę rozpuszczalników, powszechnie wykorzystywanych jako odtłuszczacze, odmrażacze oraz w różnego rodzaju procesach nakładania farb. Szacuje się, że tylko w Wielkiej Brytanii około 2 mln pracowników ma kontakt z rozpuszczalnikami organicznymi.

Miliony ton rozpuszczalników organicznych jest zużywanych rocznie na świecie – najwięcej etanolu, izopropanolu, acetonu, toluenu, ksyleny lub ich mieszanin. Rozpuszczalniki jest to grupa substancji chemicznych o stosunkowo dobrze zbadanych właściwościach toksycznych z uwagi na ich szerokie spektrum zastosowania w różnych sektorach gospodarki. Wykazują one działanie układowe, powodując zmiany w nerkach, wątrobie i centralnym układzie nerwowym. Tylko około 1/10 rozpuszczalników są to związki lotne, dla których narażenie zawodowe powinno być oceniane głównie przez pomiar w powietrzu w strefie oddychania pracowników. Wysoka lipofilność (rozpuszczalność w tłuszczach) większości rozpuszczalników wpływa na ich wchłanianie przez skórę, dlatego też dla pozostałych mniej lotnych rozpuszczalników konieczne jest przeprowadzanie oceny narażenia termalnego. Również wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) oraz związki rtęci, izocyjaniany, polichlorowane bifenyle, akrylany, fenole oraz produkty farmaceutyczne są w dużym stopniu wchłaniane przez nieuszkodzoną skórę w warunkach narażenia zawodowego. Ponad 160 substancji chemicznych w wykazie ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) oznakowanych jest zwrotem – „**skin**”, jako substancje wchłaniające się przez skórę. HSE (Health Safety Executive) obecnie takie oznakowanie przypisuje ok. 120 substancjom chemicznym [8]. Również w Polsce substancjom wchłaniającym się przez skórę przypisuje się symbol **Sk** – charakteryzujący to narażenie. W polskim wykazie najwyższych dopuszczalnych stężeń substancji chemicznych w środowisku pracy występuje 168 takich substancji [10].

W tabeli 1. zestawiono wykaz substancji powszechnie stosowane w różnych sektorach krajowej gospodarki, których wchłanianie przez nieuszkodzoną skórę wpływa w znaczący sposób na ogólną ocenę narażenia zawodowego.

Uwzględnianie narażenia dermalnego w ogólnej ocenie narażenia zawodowego, jest również bardzo istotne z uwagi na działanie miejscowe wielu substancji chemicznych stanowiące poważny problem zdrowotny dla wielu pracowników. Według statystyk światowych, dotyczących wszystkich gałęzi gospodarki, choroby skóry stanowią 9 – 34% wszystkich chorób zawodowych, a częstość ich występowania jest porównywalna jedynie z zawodowymi uszkodzeniami słuchu i układu kostno-stawowego. Choroby zawodowe skóry występują praktycznie we wszystkich sektorach gospodarki, m.in. w budownictwie oraz rolnictwie i są przyczyną zmiany pracy wielu pracowników. Według danych Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy szacunkowy koszt zachorowań na choroby skóry wynosi 600 mln euro rocznie. W Polsce w 2005 r. tylko 163 przypadki chorób skóry zostały sklasyfikowane jako zawodowe. Zawodowe choroby skóry stanowią poważny, ale jak wynika z danych statystycznych niedoceniany w naszym kraju problem. Tak mała liczba notowanych przypadków zawodowych chorób skóry, w porównaniu do innych państw Unii Europejskiej i USA, wynika między innymi z nieuwzględniania oceny narażenia dermalnego przez pracodawców i zarządzających bezpieczeństwem i higieną pracy w przedsiębiorstwach w ocenie ryzyka zawodowego związanego ze stosowaniem substancji chemicznych.

### Dopuszczalne wartości narażenia dermalnego i oznakowanie substancji wchłanianych przez skórę

Zarówno krajowe, jak również ustalone dyrektywami UE, a także zalecane przez organizacje amerykańskie wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń substancji chemicznych w środowisku pracy nie mogą stanowić kryterium do oceny dermalnego narażenia zawodowego. Wielokrotnie podejmowane były próby ustalenia najwyższych dopuszczalnych wartości narażenia dermalnego, tzw. DEOLs, które umożliwiłyby ilościową ocenę tego rodzaju narażenia. Jednak trudności w ustaleniu procentowej absorpcji w odniesieniu do ilości zdeponowanej na skórze, brak odpowiednich metod dla większości substancji chemicznych, a także ograniczone dane o szkodliwych skutkach, które są spowodowane dermalnym narażeniem spowodowało odłożenie tych działań na przyszłość.

Obecnie istnieje zgodność w poglądach dotyczących konieczności oznakowania substancji chemicznych wchłanianych przez skórę według jednolitych zasad. Przykładowo w Holandii substancja chemiczna jest sklasy-

fikowana jako substancja wchłaniana przez skórę, jeżeli narażenie dłoni i przedramion przez jedną godzinę prowadzi do wchłonięcia ok. 10% ilości substancji wchłoniętej przez drogi oddechowe przez 8 godzin. Takie podejście stwarza potencjalny problem przy substancjach oznakowanych nadgorliwie symbolem informującym o wchłanianiu przez skórę, podczas gdy OEL (*occupational exposure level* – *dopuszczalny poziom stężenia na stanowisku pracy*) był ustalony w celu zabezpieczenia przed działaniem drażniącym układ oddechowy, a nie przed działaniem układowym.

W Polsce zasady klasyfikacji substancji wchłanianych przez skórę zostały zaproponowane przez Zespół Ekspertów ds. Czynników Chemicznych w Środowisku Pracy Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN. Zgodnie z tymi zasadami substancja chemiczna jest sklasyfikowana jako wchłaniana przez skórę i oznakowana symbolem Sk w przypadku gdy [10]:

– przypisane są jej zwroty charakteryzujące zagrożenie: **R21** – działa szkodliwie w kontakcie ze skórą; **R24** – działa toksycznie w kontakcie ze skórą; **R27** – działa bardzo toksycznie w kontakcie ze skórą

–  $LD_{50s}$  – poniżej 1000 mg/kg dla zwierząt doświadczalnych ( $LD_{50s}$  – dawka substancji chemicznej powodująca śmierć 50% organizmów danej populacji w warunkach podania na skórę)

– istnieją udokumentowane wyniki na zwierzętach świadczące o występowaniu efektów układowych po powtarzalnej aplikacji na skórę.

W razie braku wymienionych rodzajów danych podstawą klasyfikacji są właściwości fizykochemiczne substancji: rozpuszczalność w lipidach, rozpuszczalność w wodzie, współczynnik podziału oktanol-woda, masa cząsteczkowa, wielkość cząstki.

### Mechanizm wchłaniania substancji chemicznych przez skórę (absorpcja dermalna)

Skóra – narząd pokrywający i osłaniający ustrój jest jedną z dróg wchłaniania substancji chemicznych występujących w postaci gazów, par cieczy oraz aerozoli ciekłych i stałych w warunkach narażenia zawodowego na te niebezpieczne dla zdrowia czynniki środowiska pracy. Ogólna powierzchnia skóry wynosi 1,5-2 m<sup>2</sup>, a grubość wynosi 1,5-5 mm. Składa się z trzech warstw: naskórka, skóry właściwej i tkanki podskórnej. Naskórek składa się głównie z dojrzewających komórek nabłonkowych, nazywanych keratynocytami i tworzy kilka warstw: podstawną, kolczystą, ziarnistą i rogową. Oprócz keratynocytów w naskórku znajdują się również komórki barwnikowe – melanocyty, komórki odpowiedzialne za reakcje immunologiczne – komórki Langerhansa i komórki układu nerwowego – komórki Merkela. Silnie hydrofobowy naskórek pełni funkcje ochronne. W skórze właściwej utworzonej z tkanki łącznej znajdują się włókna kolagenowe i elastyna oraz elementy komórkowe: fibroblasty, mastocyty i komórki krwi oraz naczynia i nerwy. Tkanę podskórną tworzy tkanka tłuszczowa i łączna. W skórze znajdują się przydatki skóry: gruczoły potowe (ekrynowe i apokrynowe), gruczoły łojowe, paznokcie i włosy. Skóra spełnia wiele czynności ochronnych: przed zakażeniem bakteriami, grzybami, wirusami, przed czynnikami mechanicznymi, termicznymi, chemicznymi i promieniowaniem świetlnym, oraz zapewnia niezmiennie warunki dla środowiska wewnętrznego organizmu (homeostazę). Poza tym skóra spełnia czynność percepcyjną ciepła, bólu, dotyku, ekspresyjną w wyrażaniu stanów emocjonalnych, resorpcyjną oraz bierze udział w magazynowaniu i przemianie materii. Skóra w okolicy otworów naturalnych (usta, nozdrza, odbył, pochwa itp.) przechodzi w błony śluzowe.

Tabela 1

SUBSTANCJE CHEMICZNE WCHŁANIANE PRZEZ SKÓRĘ  
*Chemical substances penetrating through the skin*

Akryladehyd	Diizocyjanian tolueno-2,6-diyłu lub tolueno-2,4-diyłu (toluilenodiizocyjanian)	Kumen
Akrylamid		Metanol
Akrylany		Naftalen
Anilina	Dimetoat	Nikotyna
Benzyna ekstrakcyjna	Dimetyloformamid	Nitroaniliny
Bezwodnik maleinowy	Etanol	Nitrotoluenu
Chloroaniliny	Etylobenzen	Paration metylový
Chlorofenole	Fenol	Pirydyna
Disiarczek węgla	Formaldehyd	Propanole
Dichlorometan	Hydrazyna	Styren
Diizocyjanian heksano-1,6-diyłu (heksametylenodiizocyjanian)	Krezole	Teraetyloplumban
	Ksyleny	Trimetylobenzeny



GRANICE TRANSPORTU ZWIĄZANE Z MASĄ CZĄSTECZKOWĄ [11]  
*Mass transport limits correlated with molecular weight [11]*

Masa cząsteczkowa (Da)	Transport i wchłanianie
<200	umożliwia transport śródkomórkowy
<450	sprzyja pokonywaniu barier krew-mózg
200-500	nie powoduje ograniczeń dyfuzji przez błony
>600	przyczynia się do ograniczenia dyfuzji przez błony
>1000	wyklucza transport bierny

Przenikanie substancji chemicznych przez naskórek i skórę właściwą zachodzi w wyniku:

- transportu transepidermalnego (dyfuzja lub absorpcja konwekcyjna - przez pory skóry)
- transport transfolikularnego (przez gruczoły potowe i łojowe).

Dyfuzja substancji chemicznych zdeponowanych na skórze jest wynikiem ustalonego gradientu stężenia pomiędzy stężeniem na zewnątrz skóry i stężeniem wewnątrzkomórkowym. Ten gradient powoduje przemieszczanie masy, które zależy od właściwości skóry w danym miejscu, jak również od chemicznych właściwości substancji. Dyfuzja przez warstwę skóry jest regulowana prawami Ficka, według których szybkość dyfuzji przez bariery jest wprost proporcjonalna do gradientu stężenia, a w przypadku gazów szybkość dyfuzji przez błonę przepuszczalną przy określonym ciśnieniu jest wprost proporcjonalna do rozpuszczalności gazu w cieczy i odwrotnie proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z ciężaru cząsteczkowego danego gazu.

Na zasadzie dyfuzji biernej lub absorpcji konwekcyjnej (przez pory) wchłaniają się węglowodory aromatyczne i alifatyczne, aromatyczne aminy i związki nitrowe, związki fosforoorganiczne, tetraetylen ołowiu, disiarczki węgla. Transport transfolikularny zachodzi z pominięciem naskórka, głównie przez gruczoły łojowe i mieszki włosów, częściowo również przez gruczoły potowe. W ten sposób wchłaniają się metale ciężkie, w tym także ich połączenia organiczne.

**Czynniki wpływające na absorpcję dermalną**

Cząsteczki substancji chemicznych mogą przenikać przez komórki nabłonkowe tworzące zewnętrzne i wewnętrzne bariery ochronne organizmu w wyniku dyfuzji, transportu aktywnego lub przenikania przez pory lub kanały między komórkami nabłonka. Szybkość dyfuzji zależy między innymi od masy cząsteczkowej, hydrofilowości i lipofilności, charakteru polarnego substancji, a także właściwości ekspozowanej skóry.

Masa cząsteczkowa jest jednym z podstawowych parametrów decydujących o właści-

wościach substancji chemicznych i jest w dużym stopniu skorelowana z absorpcją substancji przez bariery specjalizowane lub skórę. Można określić pewne granice wchłaniania i transportu substancji czynnych przez błony biologiczne związane z masą cząsteczkową (tabela 2.). Dobrze przenikają przez warstwę powierzchniową zrogowaciałego naskórka substancje o małej masie cząsteczkowej. Masa cząsteczkowa powyżej 500 Da bardzo ogranicza wchłanianie substancji przez skórę.

Lipofilność będąca wypadkową polarności i hydrofilności (rozpuszczalności w wodzie) substancji, jest najważniejszą cechą służącą do określenia zdolności substancji chemicznej do przenikania przez błony komórkowe. Stopień lipofilności jest pochodną wartości współczynnika podziału oktanol/woda LogP. Współczynniki podziału (oktanol/woda, woda/powietrze, oktanol/powietrze) opisują wartości przenikania substancji do odpowiedniego kompartmentu przez opis stopnia lipofilności. W przypadku substancji chemicznych można więc z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że efekt działania będzie proporcjonalny do wartości współczynnika podziału między wymienione fazy. Większa od jedności wartość współczynnika podziału oktanol/

Tabela 2

woda wskazuje na lipofilny charakter substancji, a im większa jest jego wartość, tym lepsza rozpuszczalność w lipidach i wchłanianie przez nieuszkodzoną skórę do krwiobiegu.

Stwierdzono, że największą dostępność biologiczną oraz zdolność do pokonywania takich barier biologicznych, jak skóra mają substancje chemiczne słabo lipofilne o wartościach współczynnika podziału LogP (o/w) od 1,5 do 3,5. Natomiast mniejszą zdolność przenikania mają związki o większej masie cząsteczkowej. Wynika to stąd, że lipidowa struktura błon komórkowych może przeciwdziałać przenikaniu cząstek polarnych i naładowanych. Jednak małe cząsteczki związków polarnych mogą przenikać w postaci jonów nawet przez błony komórkowe.

Przepuszczalność jest parametrem charakteryzującym szybkość pokonywania przez cząsteczki substancji błon biologicznych. Jej wartość można wprost odnieść do takich parametrów i zjawisk, jak dostępność biologiczna substancji, stała szybkości absorpcji czy też stała szybkości transportu między przestrzeniami biologicznymi.

Należy pamiętać, że wchłanianie substancji przez skórę zależy w dużym stopniu również od rodzaju ekspozowanej skóry, z uwagi na fakt, że skóra jest tkanką niejednorodną. Różni się grubością, stosunkiem grubości warstwy naskórka do warstwy skóry właściwej, gęstością mieszków włosowych, hydratacją (nawadnianiem) powierzchniowej warstwy skóry, regionu ciała, płci, temperatury skóry czy też stopniem jej ukrwienia. Przykładowo, przenikanie przez skórę moszny jest 50-krotnie większe niż w przypadku takiej samej ekspozycji skóry grubszej, mniej przepuszczalnej - na nogach lub podbrzuszu.

Tabela 3

METODY POMIARU SUBSTANCJI CHEMICZNYCH DO OCENY NARAŻENIA DERMALNEGO [12]  
*Measurement methods for assessing dermal exposure [12]*

Zasady pomiaru / techniki pobierania próbek	Metody pobierania próbek
Technika zbierania; zbieranie badanego czynnika z zastosowaniem medium zbierającego (np. papier $\alpha$ -celulozowy, bawełna, jedwab, flanela, papier impregnowany lanoliną, folia aluminiowa, polipropylen, pianka poliuretanowa), a następnie oznaczenie badanej substancji z zastosowaniem odpowiedniej techniki analitycznej	z zastosowaniem tzw. łątek  całe ubranie robocze, rękawie ochronne
Technika usuwania; usuwanie czynnika z powierzchni zanieczyszczonej skóry ekspozowanej w określonym czasie za pomocą odpowiedniego medium, a następnie oznaczenie badanej substancji z zastosowaniem odpowiedniej techniki analitycznej	ręczne ścieranie  taśma klejąca  mycie rąk płukanie rąk
Pomiar bezpośredni; wykrywanie czynnika lub znacznika bezpośrednio na powierzchni skóry lub ubrania, np. przez wizualizację i systemy przetwarzające, w określonym czasie. Metoda ta uwidacznia wszystkie miejsca narażenia, które mogą być niezauważane przy wykorzystaniu innych metod detekcji. Zaletą metody jest traktowanie zarówno skóry jak i powierzchni ubrania identycznie, a nie jako nośników o różnych właściwościach	wykrywanie czynnika lub dodanego znacznika z zastosowaniem detekcji fluorescencyjnej

Również pocenie zwiększa ilość tłuszczu na skórze i tym samym wzrasta wchłanianie związków rozpuszczalnych w tłuszczu. Otarcie skóry zwiększa jej zdolność wchłaniania nawet kilkudziesiąt tysięcy razy.

### Ocena narażenia dermalnego

Substancje chemiczne, w zależności od ich właściwości fizykochemicznych i toksycznych, mogą działać drażniaco na powierzchnię skóry i prowadzić do stanu zapalnego, łączyć się z białkami i powodować stan uczulenia. Mogą również przenikać przez skórę do krwi i powodować zatrucie ogólne, niekiedy ciężkie lub nawet śmiertelne. Tak więc, ocena narażenia na czynniki chemiczne występujące w środowisku pracy powinna uwzględniać wiele parametrów, które powinny również charakteryzować ekspozycję dermalną. Podczas określania zaabsorbowanej przez skórę dawki substancji chemicznej należy uwzględnić intensywność narażenia i powierzchnię ekspozycję wraz z częstotliwością kontaktu ze skórą i częstotliwością usuwania zanieczyszczeń ze skóry.

Metody pomiaru substancji chemicznych do oceny narażenia dermalnego są coraz częściej przedmiotem prac badawczych. Zagadnieniem tym zajął się również Komitet Techniczny CEN TC 137, rozpoczynając prace nad opracowaniem normy nt. *Workplace exposure – Measurement of dermal exposure – Requirement and test methods* [12], w której zaproponowano zasady i metody pomiaru do oceny zawodowego narażenia dermalnego. W tabeli 3. podano zestawienie tych metod.

Wybór metody pomiaru substancji chemicznej na powierzchni skóry lub odzieży roboczej/ochronnej jest uzależniony od właściwości ich fizykochemicznych i zdeponowanych ilości. Ocena narażenia dermalnego polegająca na pomiarze masy napotyka obecnie na różne trudności w momencie, kiedy podejmowane są próby wykorzystania wyników tych pomiarów do wyliczenia i oceny ilości substancji zaabsorbowanej przez organizm, z uwagi na brak odpowiednich wartości dopuszczalnych stężeń.

Innymi metodami do oceny narażenia dermalnego jest metoda sztucznej skóry oraz biomonitoring substancji chemicznych lub ich metabolitów w powietrzu wydychanym, w moczu, krwi pracowników lub w innym materiale biologicznym.

Również metoda modelowania z wykorzystaniem statystycznych i deterministycznych metod może być pomocna w oszacowaniu ilości czynników chemicznych zdeponowanych na skórze. Jednym z modeli wykorzystywanych w tego typu ocenie jest konceptualny model zaproponowany w roku 1999 przez Schneidera

i innych [6]. Uproszczony schemat modelu został przedstawiony na rysunku.

Model pozwala na wyznaczenie narażenia skóry, do którego dochodzi na skutek przenoszenia masy pomiędzy takimi strefami środowiskowymi i indywidualnymi, jak źródło emisji, powietrze, różnego typu powierzchnie, wewnętrzna i zewnętrzna warstwa ubrania, narażona powierzchnia skóry. Poza emisją substancji ze źródła, w modelowaniu brane są również pod uwagę takie procesy, jak depozycja na powierzchniach, redystrybucja pomiędzy strefami, usuwanie substancji przez oczyszczanie powierzchni i wentylację czy też transport przez bariery ubrania i naskórka. Szkodliwe substancje w warstwie dermalnej są wchłaniane zależnie od różnicy stężeń na powierzchni skóry i wewnątrz komórek (tkanek). Ryzyko związane z narażeniem jest więc związane z zależnym od czasu stężeniem substancji na powierzchni skóry. Jest to uproszczony sposób oceny narażenia, gdyż umożliwia jedynie wyznaczenie masy substancji, która może zostać zdeponowana na skórze, bez uwzględnienia szeregu czynników wpływających na transport substancji przez skórę.

### Podsumowanie

Narażenie dermalne powoduje dynamiczną interakcję pomiędzy zanieczyszczeniami środowiska, w tym środowiska w miejscu pracy, a skórą. W przeciwieństwie do oceny narażenia inhalacyjnego, ocena narażenia dermalnego nie jest obecnie uwzględniana w ogólnej ocenie ryzyka zawodowego związanego z występowaniem czynników chemicznych w środowisku pracy, pomimo że wielokierunkowe szkodliwe działanie i zawodowe choroby skóry spowodowane dermalnym narażeniem na czynniki chemiczne są udokumentowane w literaturze przedmiotu oraz wynikami badań epidemiologicznych i statystycznych.

### PIŚMIENICTWO

- [1] A. Aragón, L. Blanco, L. López et al. *Reliability of a visual scoring system with fluorescent tracers to assess dermal pesticide exposure*. Ann. Occup. Hyg. 2004, 48:601 - 6
- [2] A. Aragón, L. Blanco, A. Funez et al. *Assessment of dermal pesticide exposure with fluorescent tracer: a modification of a visual scoring system for developing countries*. Ann. Occup. Hyg. 2006, 50:75 - 83
- [3] W. Fransman, R. Vermeulen, H. Kromhout *Occupational Dermal Exposure to Cyclophosphamide in Dutch Hospitals: A Pilot Study*. Ann. Hyg., 2004 48: 237 - 244
- [4] H. Marquart, N. D. Warren, J. Laitinen, J. J. Van Hemmen *Default Values for Assessment of Potential Dermal Exposure of the Hands to Industrial Chemicals in the Scope of Regulatory Risk Assessments*. Ann. Hyg., July 2006, 50: 469 - 489



Rys. Uproszczony schemat modelowania narażenia dermalnego [6, 13]

Fig. A diagram of dermal exposure modelling [6, 13]

- [5] S. Semple *Dermal exposure to chemicals in the workplace: just how important is skin absorption?* Occup. Environ. Med., 2004, 61: 376-382
- [6] T. Schneider, R. Vermeulen, D. Brouwer et al. *A conceptual model for assessment of dermal exposure*. Occup. Environ. Med. 1999; 56:765 - 73
- [7] J. J. Van Hemmen *Dermal Exposure to Chemicals*. Ann. occup. Hyg., 2004, 48(3): 183-185
- [8] B. Van Wendel de Joode, R. Vermeulen, J. J. Van Hemmen, W. Fransman, H. Kromhout *Accuracy of a semiquantitative method for Dermal Exposure Assessment (DREAM)* Occup. Environ. Med. 2005, 62: 623 - 632
- [9] N. D. Warren, H. Marquart, Y. Christopher, J. Laitinen, J. J. Van Hemmen *Task-based Dermal Exposure Models for Regulatory Risk Assessment*, Ann. Hyg., 2006, 50: 491 - 503
- [10] *Czynniki Szkodliwe w Środowisku Pracy – Wartości Dopuszczalne 2005*. Red. D. Augustyńska, M. Pośniak. CIOP-PIB, Warszawa 2005
- [11] T. Grabowski *Farmakokinetyka i biofarmacja*, www.biokinetica.pl
- [12] CEN/TS 15279:2006 *Workplace exposure – Measurement of dermal exposure – Requirement and test methods*
- [13] CEN/TR 15278:2006 *Workplace exposure – Strategy for the evaluation of dermal exposure*

*Publikacja opracowana w ramach programu wieloletniego pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej”, dofinansowywanego w latach 2005 – 2007 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*