

Agnieszka Jankowska  
Sławomir Czerczak  
Małgorzata Kupczewska-Dobecka

## BEZPOMIAROWA OCENA NARAŻENIA NA DZIAŁANIE SUBSTANCJI CHEMICZNYCH PRZEZ KONTAKT ZE SKÓRĄ W ŚRODOWISKU PRACY

ASSESSMENT OF PREDICTIVE DERMAL EXPOSURE TO CHEMICALS IN THE WORK ENVIRONMENT

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland  
Zakład Bezpieczeństwa Chemicznego / Department of Chemical Safety

### STRESZCZENIE

Ocena narażenia dermalnego na substancje chemiczne w środowisku pracy jest zagadnieniem problematycznym. Wynika to w pierwszej kolejności z braku danych na temat wielkości narażenia zawodowego, pochodzących z pomiarów stężeń chemikaliów. Ze względu na powszechność potencjalnego narażenia przez kontakt ze skórą w środowisku pracy i jego konsekwencje zdrowotne konieczne jest szukanie skutecznych rozwiązań umożliwiających wiarygodną ocenę narażenia. Celem pracy jest przybliżenie bezpomiarowej oceny narażenia dermalnego na substancje chemiczne za pomocą modeli predykcyjnych i bliższe przedstawienie zasad działania wybranego modelu polskim użytkownikom. W pracy przedstawiono przykładowe modele wspomagające pracodawcę w ocenie narażenia zawodowego związanego z kontaktem substancji chemicznych ze skórą pracownika, opracowane w krajach Unii Europejskiej, jak również poza Unią. Na podstawie danych literaturowych w artykule krótko opisano wybrane modele do szacowania narażenia dermalnego: EASE (Estimation and Assessment of Substance Exposure – oszacowanie i ocena narażenia na substancję), COSHH Essentials (Control of Substances Hazardous to Health Regulations – utrzymywanie pod kontrolą substancji niebezpiecznych dla zdrowia), DREAM (Dermal Exposure Assessment Method – metoda oceny narażenia dermalnego), Stoffenmanager, ECETOC TRA (European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals Targeted Risk Assessment – ukierunkowane szacowanie ryzyka Europejskiego Centrum ds. Ekotoksykologii i Toksykologii Chemikaliów), MEASE (Metal's EASE), PHED (Pesticide Handlers Exposure Database – baza danych na temat narażenia użytkowników pestycydów), DERM (Dermal Exposure Ranking Method – metoda rankingu narażenia dermalnego) i RISKOFDERM (Risk Assessment of Occupational Dermal Exposure to Chemicals – ocena ryzyka wynikającego z narażenia dermalnego na chemikalia). Ponadto bardziej szczegółowo zaprezentowano charakterystykę modelu RISKOFDERM, wskazówki dotyczące korzystania z narzędzia oraz informacje na temat danych wejściowych i wyjściowych tego modelu. Opisano problem oceny narażenia dermalnego w ciągu całego dnia roboczego, a także przedstawiono przykładowe szacowanie narażenia za pomocą modelu RISKOFDERM i dotychczasową ocenę skuteczności tego modelu. W przypadku braku danych z pomiarów stężeń chemikaliów stwarzających zagrożenie dla pracownika w wyniku kontaktu ze skórą użycie modelu RISKOFDERM umożliwia ocenę potencjalnego dermalnego narażenia zawodowego, co może podnieść jakość oceny ryzyka, a przez to skuteczność sterowania ryzykiem wynikającym z narażenia przez skórę. Med. Pr. 2017;68(4):557–569

**Słowa kluczowe:** narażenie zawodowe, modele predykcyjne, ocena narażenia, higiena pracy, narażenie dermalne, RISKOFDERM

### ABSTRACT

Assessment of dermal exposure to chemicals in the work environment is problematic, mainly as a result of the lack of measurement data on occupational exposure to chemicals. Due to common prevalence of occupational skin exposure and its health consequences it is necessary to look for efficient solutions allowing for reliable exposure assessment. The aim of the study is to present predictive models used to assess non-measured dermal exposure, as well as to acquaint Polish users with the principles of the selected model functioning. This paper presents examples of models to assist the employer in the the assessment of occupational exposure associated with the skin contact with chemicals, developed in European Union (EU) countries, as well as in countries outside the EU. Based on the literature data dermal exposure models EASE (Estimation and Assessment of Substance Exposure), COSHH Essentials (Control of Substances Hazardous to Health Regulations), DREAM (Dermal Exposure Assessment Method), Stoffenmanager, ECETOC TRA (European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals Targeted Risk Assessment), MEASE (Metal's EASE), PHED (Pesticide Handlers Exposure Database), DERM (Dermal Exposure Ranking Method) and RISKOFDERM (Risk Assessment of Occupational Dermal Exposure to Chemicals) were briefly described. Moreover the characteristics of RISKOFDERM, guidelines for its use, information on input and output data were further detailed. Problem of full work shift dermal exposure assessment is described. An example of exposure assessment using RISKOFDERM and effectiveness evaluation to date were also presented. When no measurements are available, RISKOFDERM allows dermal exposure assessment and thus can improve the risk assessment quality and effectiveness of dermal risk management. Med Pr 2017;68(4):557–569

**Key words:** occupational exposure, predictive models, exposure assessment, occupational hygiene, dermal exposure, RISKOFDERM

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Agnieszka Jankowska, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Zakład Bezpieczeństwa Chemicznego, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: Agnieszka.Jankowska@imp.lodz.pl  
Nadesłano: 19 września 2016, zatwierdzono: 19 stycznia 2017

## WSTĘP

Główne zadania higieny pracy skupiają się na ocenie narażenia inhalacyjnego na czynniki chemiczne za pomocą różnorodnych strategii pomiarowych i metod bezpomiarowych. W ciągu ostatniej dekady ocenie narażenia drogą skórą poświęcono więcej uwagi, co wynikało z konieczności realizacji postanowień Rozporządzenia (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. popularnie zwanego REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals – rejestracja, ocena, udzielanie zezwoleń i wprowadzanie ograniczeń w zakresie chemikaliów) [1]. Głównym celem tego rozporządzenia jest zapewnienie bezpieczeństwa chemicznego podczas produkcji i stosowania chemikaliów poprzez identyfikację oraz opis warunków zapewniających kontrolę ryzyka. Procesem wspierającym osiągnięcie tego celu jest ocena bezpieczeństwa chemicznego.

Jednym z elementów oceny bezpieczeństwa chemicznego jest ocena narażenia definiowana jako proces pomiaru lub oszacowania dawki albo stężenia substancji, na które są lub mogą być narażeni ludzie (pracownicy, konsumenci i osoby narażone pośrednio poprzez środowisko), w zależności od zastosowań substancji. Oszacowanie poziomów narażenia jest dokonywane w odniesieniu do każdej możliwej drogi narażenia człowieka (drogi oddechowe, drogi pokarmowe, skóra) i przez wszystkie drogi oraz źródła narażenia łącznie.

Narażenie dermalne może wynikać z miejscowego zanieczyszczenia skóry podczas ręcznych manipulacji w różnych sytuacjach zawodowych (np. podczas mieszania, rozładunku i załadunku, pobierania próbek, rozpylania substancji) lub w niektórych przypadkach z narażenia na wysokie stężenia substancji w powietrzu.

Wyodrębniono trzy główne drogi zanieczyszczenia skóry:

- osadzanie (z powietrza),
- bezpośredni kontakt z zanieczyszczeniem (np. zanieczyszczenie, plamy),
- kontakt z zanieczyszczonymi powierzchniami.

Transfer zanieczyszczeń z rąk na inne części ciała może być ważną częścią ekspozycji skóry. Źródłem narażenia dermalnego może być również zanieczyszczona odzież. Na wielkość potencjalnego narażenia skóry

mogą dodatkowo wpływać inne czynniki, jak sposób wykonywania pracy, warunki operacyjne i czynnik ludzki. Znajomość rozkładu zanieczyszczeń na skórze umożliwia efektywniejszą ocenę ryzyka. W sytuacji idealnej dane dotyczące narażenia są reprezentatywne dla danych okoliczności [2].

Na wchłanianie przez skórę może wpływać wiele czynników, jak ilość stosowanej substancji, jej stężenie i masa cząsteczkowa, obecność innych substancji, które mogą ułatwić wchłanianie, wielkość narażonej powierzchni skóry i jej rodzaj (np. większa absorpcja przez skórę twarzy niż dłoni), czas trwania i częstotliwość narażenia oraz swoiste właściwości substancji, np. lipofilność i biodostępność, ogólny stan skóry, jej hydratacja, temperatura itp.

Poziom zanieczyszczenia powierzchni skóry może w rzeczywistości być zmienny w wyniku złożonej kombinacji procesów zanieczyszczenia i dekontaminacji. Jeśli wskaźnik absorpcji przez skórę jest wysoki, może występować tzw. dawka pułapowa. Z kolei, jeśli wskaźnik absorpcji przez skórę jest niski, efekt zmienności ekspozycji nie będzie duży, krzywa absorpcji zostanie spłaszczona, zanim absorpcja będzie mieć miejsce [2].

Odrębny problem wynika z działania miejscowego substancji chemicznych na skórę, czyli skutków działania na powierzchni skóry. Do działania miejscowego substancji chemicznych na skórę zalicza się działanie drażniące, żrące i uczulające. Wyniki oceny narażenia dermalnego na substancje o działaniu miejscowym, a następnie oceny ryzyka wynikającej z tego narażenia, stanowią wskazówki przede wszystkim do doboru odpowiednich środków ochrony indywidualnej, np. rękawic ochronnych.

Strategia pomiarowa dla narażenia inhalacyjnego została sformalizowana i opracowana w postaci polskich norm, normatywy higieniczne substancji w powietrzu środowiska pracy obowiązują prawnie, a systematyczny monitoring powietrza środowiska pracy, przeprowadzony z odpowiednią częstością, wynika z odpowiednich przepisów. Stąd wykonywanie oznaczeń niebezpiecznych substancji w powietrzu jest podstawową metodą oceny narażenia zawodowego na czynniki chemiczne. Ocena narażenia dermalnego wydaje się być poza nawiasem w aspekcie uregulowań prawnych. Dlatego też dane charakteryzujące kontakt ze skórą są trudniej dostępne.

W celu zabezpieczenia pracowników przed nadmiernym narażeniem na niektóre substancje, ze względu na ich bardzo duże wchłanianie przez skórę, monitoring biologiczny ma większą wartość niż monitoring środowiska. Dotyczy to w istotnym stopniu osób narażonych na rozpuszczalniki organiczne, środki ochrony roślin czy cytostatyki. Miejsce monitoringu biologicznego w kompleksie działań mających na celu ochronę zdrowia pracujących nie zostało jednak dotychczas określone przez prawo. Stąd w świetle braku danych charakteryzujących kontakt substancji ze skórą pracownika konieczne było oznaczenie jakichkolwiek wartości szacunkowych w oparciu o dostępne dane modelowe na potrzeby tworzonego scenariusza narażenia.

Żeby sprostać pierwszemu terminowi rejestracji REACH, przemysł zarejestrował około 1500 substancji, które wymagają oceny ryzyka. Zakładając, że średnio 10 ocen przypada na scenariusz, a 10 scenariuszy narażenia przypada na substancję, konieczne było przeprowadzenie co najmniej 150 000 ocen narażenia w pierwszym okresie rejestracji [3]. Żeby to osiągnąć, potrzebne były narzędzia oceny dla przemysłu, które ułatwiłyby masowe wykonywanie wielopoziomowej oceny ryzyka o odpowiednim poziomie konserwatywności i akceptowanej niepewności. Obecnie dostępne są modele predykcyjne umożliwiające ocenę narażenia zarówno ilościową (szacują pasmo narażenia – tzw. exposure band), jak i ilościową.

Przegląd wybranych modeli bezpomiarowego prognozowania narażenia zawodowego i związanego z nim ryzyka oraz ocenę ich przydatności do szacowania inhalacyjnego narażenia zawodowego przedstawili Gromiec i wsp. [4]. Dobrzyńska i wsp. [5] dokonali natomiast przeglądu narzędzi wspomagających pracodawcę w ocenie ryzyka zawodowego związanego z występowaniem czynników chemicznych.

Celem pracy było przybliżenie bezpomiarowej oceny narażenia dermalnego na działanie substancji chemicznych i bliższe przedstawienie zasad działania aplikacji RISKOFDERM (risk assessment of occupational dermal exposure to chemicals – ocena ryzyka wynikającego z narażenia dermalnego na chemikalia) (modelu służącego do szacowania zawodowej ekspozycji na skórę) polskim użytkownikom.

Ponadto zamiarem autorów niniejszej publikacji było przetarcie szlaku potencjalnym użytkownikom modelu RISKOFDERM – tj. specjalistom ds. bezpieczeństwa i higieny pracy, higienistom przemysłowym, projektantom nowych technologii i służbom kontrolnym w higienie pracy, żeby ułatwić im zarządzanie ryzykiem

związanym z narażeniem pracownika drogą skórą i zachęcić ich do stosowania metody bezpomiarowej.

Priorytetem było pokazanie użytkownikowi, jak i w jakich sytuacjach należy korzystać z modelu oraz jakie aspekty muszą zostać wzięte pod uwagę, żeby ocenić wartość i wiarygodność wyników. Zakres stosowności każdego modelu jest określony w dużym stopniu przez dane wykorzystane do jego budowy i scenariusze narażenia, dla których zebrano dane. Dlatego też przedstawiono ich krótki opis.

## METODY PRZEGLĄDU

Przeglądu piśmiennictwa dokonano w oparciu o bazy internetowe naukowych czasopism recenzowanych (PubMed, ScienceDirect) i strony internetowe twórców modeli predykcyjnych, gdzie zostały zamieszczone publikacje, raporty techniczne i wytyczne na temat stosowania modeli oraz same modele. W bazach czasopism recenzowanych zastosowano następujące słowa kluczowe w języku angielskim: dermal exposure, skin exposure, exposure model, RISKOFDERM. Dokonano również przeglądu strony internetowej Europejskiej Agencji Chemikaliów [6], gdzie zostały zamieszczone wytyczne na temat szacowania narażenia na substancje chemiczne.

W przygotowaniu niniejszego opracowania wykorzystano prace dotyczące szacowania narażenia dermalnego na substancje chemiczne za pomocą modeli, ze szczególnym uwzględnieniem modelu RISKOFDERM.

## WYNIKI PRZEGLĄDU

Niniejszy przegląd piśmiennictwa podzielono na części dotyczące krótkiego opisu wybranych modeli do szacowania narażenia dermalnego, charakterystyki modelu RISKOFDERM, wskazówek dotyczących korzystania z modelu RISKOFDERM i informacji na temat danych wejściowych oraz wyjściowych modelu RISKOFDERM. Opisano również problem oceny narażenia w ciągu całego dnia roboczego i przedstawiono przykładowe szacowanie narażenia w ciągu dnia roboczego za pomocą modelu RISKOFDERM. Ponadto przedstawiono dotychczasową ocenę skuteczności modelu RISKOFDERM.

### Przegląd wybranych modeli do szacowania narażenia dermalnego

W Europie na początku lat 90. XX w. brytyjska inspekcja bezpieczeństwa i higieny pracy (Health and Safety Executive – HSE) opracowała model EUSES (European

Union System for the Evaluation of Substances – system oceny substancji Unii Europejskiej), który pozwalał na szacowanie narażenia inhalacyjnego, ocenę ryzyka związanego z zagrożeniem i przewidywanie narażenia pracownika przez skórę [7,8]. Jego moduł EASE (Estimation and Assessment of Substance Exposure – Oszacowanie i Ocena Narażenia na Substancję) [9] był jednym z pierwszych modeli do ilościowej oceny narażenia zawodowego w przypadku kontaktu substancji ze skórą. W przypadku ekspozycji skórnej model przewiduje potencjalne narażenie na ręce i przedramiona, wyrażone jako masa na jednostkę powierzchni odsłoniętej skóry na dzień ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{dzień}$ ) [7]. Początkowo model ten był używany jako narzędzie do badań przesiewowych dla celów regulacyjnych, tj. ocen ryzyka dla nowych substancji chemicznych. Dzisiaj EASE jest bardziej narzędziem oceny ryzyka w celu oszacowania narażenia na substancje w sposób uproszczony.

Model do oceny narażenia przez skórę COSHH Essentials (Control of Substances Hazardous to Health Regulations – utrzymywanie pod kontrolą substancji niebezpiecznych dla zdrowia) [10] został opracowany w Wielkiej Brytanii przez HSE w 2002 r. i zapewnia pomoc dla małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP) [11]. Model szacuje 3 pasma narażenia przez skórę, które zostały wytypowane na podstawie klasyfikacji substancji pod względem zagrożeń dla skóry i procesu, w którym substancja jest stosowana.

Model DREAM (Dermal Exposure Assessment Method – metoda oceny narażenia dermalnego) powstał w Holandii w 2003 r. Celem modelu było stworzenie metody do ogólnej oceny narażenia zawodowego skóry na czynniki chemiczne. Model może być stosowany w higienie pracy dla danej sytuacji do wstępnej oceny poziomu narażenia skóry na ciecze i ciała stałe, jako podstawa do zaplanowania strategii pomiarowej (czyli co i gdzie powinno zostać zmierzone) lub do działań kontrolnych. Model daje wgląd w dystrybucję narażenia skóry w przypadku całego ciała. Wynikiem jest szacunkowe, wyrażone liczbowym wskaźnikiem pasmo narażenia dermalnego pracownika podczas wykonywania określonego zadania [12].

Model Stoffenmanager [13] został opracowany w Holandii i jest stosowany od 2003 r. [14]. Narzędzie to powstało w celu wspierania MŚP w ocenie ryzyka, priorytetyzacji i kontroli ryzyka w pracy z produktami chemicznymi. Podobnie jak w COSHH Essentials w modelu Stoffenmanager zastosowano pasmo zagrożenia [15]. Algorytm jego działania został przedstawiony w publikacjach Schneider [16,17]. Ponadto mo-

del ten wykorzystuje dane pomiarowe uzyskane przy realizacji projektów badawczych podjętych przez rząd holenderski, a podstawą modelu szacowania narażenia dermalnego jest RISKOFDERM, o którym będzie mowa w dalszej części artykułu [15]. Model Stoffenmanager szacuje narażenie przez skórę w sposób jakościowy. Należy podkreślić, że narzędzie to dostępne jest od niedawna w polskiej wersji językowej.

Ponad 90% ocen bezpieczeństwa chemicznego złożonych w 2 pierwszych terminach rejestracji zgodnie z rozporządzeniem REACH zawierało ocenę narażenia opartą na modelu ECETOC TRA (European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals Targeted Risk Assessment – ukierunkowane szacowanie ryzyka Europejskiego Centrum ds. Ekotoksykologii i Toksykologii Chemikaliów) [3].

Narzędzie to zostało uruchomione w 2004 r. i składa się z 3 modeli szacowania narażenia pracowników, konsumentów i środowiska – drogą inhalacyjną i dermalną [18]. Metoda ECETOC TRA opiera się na modelu EASE. Struktura modelu narażenia przez kontakt skórny jest podobna do modelu narażenia inhalacyjnego i obejmuje te same 3 parametry – stan fizyczny, profil użytkowania substancji i profil kontroli narażenia. Dwa ostatnie parametry przedstawiano w uproszczonej postaci z uwagi na brak wiarygodnych danych pomiarowych dotyczących narażenia skórnoego. Jako dane wejściowe wymagane jest tylko kilka czynników warunkujących: czas trwania zadania, stosowanie lokalnej wentylacji wyciągowej, kategoria procesu, prężność par substancji ciekłej i pylistość substancji stałej. Informacje te są wprowadzane do standardowego formatu scenariusza narażenia. Danymi wyjściowymi są wartości przewidywanego narażenia dermalnego wyrażonego jako obciążenie skóry ( $\text{mg}/\text{cm}^2$  skóry) [19,20].

Na podstawie założeń ECETOC TRA opracowano aplikację MEASE (Metal's EASE) [21], która jest zalecana przez Europejską Agencję ds. Chemikaliów (European Chemicals Agency – ECHA) do szacowania narażenia na metale i substancje nieorganiczne [2]. Model MEASE łączy w sobie założenia modelu EASE i ECETOC TRA z wytycznymi szacowania ryzyka zdrowotnego dla metali (Health Risk Assessment Guidance for Metals – HERAG). Podstawą szacowania narażenia skórnoego w modelu MEASE są pasma narażenia stosowane w programie EASE, zestawione i skorelowane z danymi z pomiarów narażenia na metale. Model szacuje wartości przewidywanej dawki wyrażonej dla narażenia skórnoego jako obciążenie skóry wyrażone w jednostce  $\text{mg}/\text{cm}^2$  skóry/dzień [21].

Dużą popularnością cieszą się modele, których celem jest ocena narażenia przez skórę na pestycydy. Używane są przez wszystkie główne agencje regulacyjne na całym świecie i w przemyśle pestycydów do oceny bezpieczeństwa produktów. Należy do nich model DERM (Dermal Exposure Ranking Method – metoda rankingu narażenia dermalnego) opracowany w 2008 r. przez Narodowy Autonomiczny Uniwersytet w Nikaragui (Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua – UNAN-León) [22] i model PHED (Pesticide Handlers Exposure Database – baza danych na temat narażenia użytkowników pestycydów) opracowany przez konsorcjum kanadyjskie i amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (Environmental Protection Agency – EPA) [23]. Poziomy narażenia na pestycydy oszacowano, wykorzystując zgłaszane informacje kwestionariuszowe dotyczące ekspozycji, a także dane literaturowe dotyczące monitoringu pestycydów. Baza danych pomiarowych składa się głównie z informacji pochodzących od około 100 firm, które chciały zarejestrować określony pestycyd, i zawiera dane o ponad 1700 monitorowanych zdarzeniach ekspozycji [24].

Modele DERM i DREAM są dostępne wyłącznie w postaci opublikowanego algorytmu, modele PHED, EASE i ECETOC TRA – jako oprogramowanie, MEASE jest dostępny jako plik programu Excel, natomiast COSHH Essentials i Stoffenmanager są dostępne online.

Model RISKOFDERM został opracowany dzięki współpracy 15 różnych instytutów z 10 różnych krajów europejskich w 2003 r. jako model oceny ryzyka w kontakcie ze skórą, do celów regulacyjnych dla przedsiębiorstw [25–28]. Model RISKOFDERM dostępny jest w postaci pliku programu Excel na stronie ECHA [29].

Ze względu na prostotę algorytmów i możliwość ilościowej oceny model RISKOFDERM został uznany przez Europejską Agencję ds. Chemikaliów (ECHA) za najodpowiedniejszy dla potrzeb rozporządzenia REACH i jest zalecany do oceny narażenia przez skórę obok modelu ECETOC TRA, którego głównym celem jest jednak ocena narażenia inhalacyjnego [2]. Model RISKOFDERM jest uważany za narzędzie oceny wyższego stopnia [2]. Oznacza to, że model wymaga wprowadzenia większej ilości danych i jest bardziej skomplikowany od modeli 1. stopnia (takich jak np. ECETOC TRA), natomiast umożliwia dokładniejsze oszacowanie narażenia.

#### **Charakterystyka modelu RISKOFDERM [29,30]**

Model RISKOFDERM jest modelem szacowania zawodowej ekspozycji na skórę, tzn. całkowitej ilości sub-

stancji mającej kontakt ze skórą i odzieżą ochronną lub roboczą w ciągu dnia pracy. Jest on oparty na analizie statystycznej danych pomiarowych zgromadzonych w europejskim projekcie dotyczącym narażenia skórno-RISKOFDERM i składa się z zestawu równań matematycznych, uzyskanych w ramach projektu, opisujących narażenie dermalne. Równania te zostały wpisane do przyjaznego dla użytkownika arkusza kalkulacyjnego programu Excel. Obecnie dostępna jest wersja RISKOFDERM z oprogramowaniem w języku angielskim.

Zasadność i adekwatność modelu jest stosunkowo wysoka w sytuacjach przypominających te, dla których zebrano dane z pomiarów, stanowiących podstawę opracowania modelu. Gdy oceniane sytuacje nie mieszczą się w zakresie warunków pracy, dla których zebrano dane z pomiarów, adekwatność modelu staje się niepewna.

Dla takich parametrów stałych modelu, jak prędkość dozowania i czas trwania czynności, zastosowano pewne wartości domyślne (zakresy) na podstawie zestawu danych dostępnych dla tych parametrów. Podczas stosowania modelu należy zachować szczególną ostrożność, jeżeli prędkość lub czasy trwania czynności znacznie wykraczają poza podane zakresy wartości. Ekstrapolacja do bardzo długich czasów trwania lub bardzo dużych prędkości może prowadzić do wyników, które są powyżej poziomów uznawanych za racjonalne. Przyjęte zakresy dla prędkości i czasu trwania czynności uwzględnione podczas tworzenia aplikacji na podstawie zestawu danych pomiarowych wynoszą:

- napełnianie, mieszanie i ładowanie – dla ciał stałych prędkość wynosiła 0,56–225 kg/min, czas trwania 1–20 min, natomiast dla cieczy prędkość wynosiła 0,008–257 l/min, a czas trwania 0,33–125 min;
- czyszczenie – dla cieczy prędkość wynosiła 0,0017–1,18 l/min, a czas trwania 5–35 min;
- nanoszenie przy użyciu narzędzi ręcznych – dla cieczy prędkość wynosiła 0,0001–1,1 l/min, a czas trwania 1–445 min;
- natryskiwanie – dla ciał stałych prędkość wynosiła 0,02–0,12 kg/min, czas trwania 4–90 min, natomiast dla cieczy prędkość wynosiła 0,04–50,4 l/min, a czas trwania 3–600 min;
- zanurzanie – dla cieczy czas trwania wynosił 4–483 min;
- obróbka mechaniczna – dla ciał stałych czas trwania wynosił 18–154 min, natomiast dla cieczy czas trwania wynosił 47–214 min.

Prędkość dozowania nie została uwzględniona w przypadku zanurzania i obróbki mechanicznej. Procesy czyszczenia, nanoszenia przy użyciu narzędzi ręcznych i zanurzania nie obejmowały narażenia na chemikalia w postaci ciał stałych. W przypadku czyszczenia, nanoszenia i natryskiwania występowały także ograniczenia dla kombinacji prędkości i czasu. Wysokie prędkości bowiem na ogół nie występują w połączeniu z długim czasem trwania (czynności wykonywane z większą prędkością trwały zwykle krócej, np. przy prędkości 0,22 l/min czynność trwała najwyżej 20 min).

W modelu RISKOFDERM zastosowano wskaźniki, które pokazują, jaka część zmienności rzeczywistych wyników została wyjaśniona przez uwarunkowania użyte w modelu. Są to precyzja danych szacunkowych, wyrażona jako średnie geometryczne odchylenie standardowe (geometric standard deviation – GSD), obliczone na podstawie zmienności „wewnątrzpracowniczej” i międzypracowniczej, oraz parametr charakteryzujący dokładność modelu, tj. 95-percentylowy przedział ufności. Jeśli model charakteryzuje się wysokim procentem wyjaśnionej zmienności, niskim GSD i małym przedziałem ufności, to uważa się, że działa bardzo dobrze. Jeśli charakteryzuje się niskim procentem wyjaśnionej zmienności, wysokim GSD i dużym przedziałem ufności, uważa się, że działa bardzo słabo. Jeżeli jeden lub oba z tych wskaźników pokazują inne kierunki, wtedy działanie nie jest ani bardzo dobre, ani bardzo słabe.

Model RISKOFDERM ma jasną i przyjazną dla użytkownika konstrukcję. Model ten opiera się na konkretnych zadaniach. Potencjalne narażenia rąk i ciała są szacowane oddzielnie. Algorytm wykorzystuje do obliczeń czas ekspozycji i szybkość aplikacji, dozowania lub usuwania produktu. Środkiem prewencji włączonym do oceny jest wentylacja. Model ocenia potencjalne narażenie skóry, nie uwzględniając wpływu ochronnej odzieży i rękawic. Model RISKOFDERM oblicza potencjalne narażenie na minutę dla skóry rąk i/lub pozostałej części ciała ( $\mu\text{l}/\text{min}$  lub  $\text{mg}/\text{min}$ ) oraz całkowitą ekspozycję ( $\mu\text{l}$  lub  $\text{mg}$  na skórze rąk i/lub pozostałej części ciała) po wprowadzeniu czasu trwania czynności prowadzącej do ekspozycji.

Model zapewnia ostrzeżenia dla wartości wejściowych będących poza zakresem wartości wykorzystywanych do budowy modelu i ostrzega, jeśli oszacowana ekspozycja nie jest realistyczna. Tam, gdzie ma to zastosowanie, model wyświetla ostrzeżenia dotyczące wyników, które powinny być traktowane wyjątkowo

ostrożnie, np. w przypadku gdy mediana wartości narażenia rąk w ciągu zmiany jest wyższa niż wartość uznawana za rozsądną, wyświetli się komentarz: „posługując się tym wynikiem zachowaj ostrożność, rozkład percentylowy wielkości narażenia w ciągu zmiany dla rąk jest wyższy niż wartość uznawana za rozsądną”.

### **Jak korzystać z RISKOFDERM? [29,30]**

Przede wszystkim ocena narażenia skórniego na produkt powinna być poprzedzona przeglądem zaproponowanego zakresu stosowania produktu. Należy określić ocenianą sytuację i opisać w kategoriach ogólnych. W przypadku, gdy dzień pracy składa się z kilku wyraźnie oddzielnych zadań lub procesów, należy je rozróżnić, kierując się scenariuszem narażenia, a w przypadku każdego oddzielnego procesu czy zadania należy dokonać osobnej oceny, posługując się modelem narażenia skórniego RISKOFDERM.

Model należy otworzyć w programie Excel lub za pomocą Eksploratora Windows. Do działania modelu konieczne jest włączenie makr systemowych. Aplikacja powinna zawsze otwierać się w arkuszu startowym. W modelu można wprowadzić nazwę ocenianego scenariusza narażenia.

Następnie należy wybrać proces, który najlepiej odzwierciedla sytuację, jaka ma być oceniana. Model obsługuje 6 procesów za pośrednictwem 6 algorytmów. Można wybrać jeden z 6 procesów, nazywanych przez model jednostką operacyjną narażenia na skórę DEO (Dermal Exposure Operation units – DEO units), która jest zbiorem mniej lub bardziej podobnych scenariuszy narażenia o podobnych schematach narażenia [26,31]. Jednostki operacyjne modelu RISKOFDERM przedstawiono w tabeli 1.

### **Dane wejściowe modelu RISKOFDERM [29,30]**

Dane można wprowadzić do arkusza, wybierając opcje z menu rozwijanego w komórce (jeśli to możliwe) lub wpisując w niej wartość. Należy zwrócić uwagę, że podręczny komentarz dostarcza ważnych informacji, a różne typy wprowadzonych danych mają różny kolor. Model zadaje pytania, na które należy odpowiedzieć w komórkach wejściowych. W każdym przypadku konieczne jest wprowadzenie czasu ekspozycji.

Wybór wartości parametrów wejściowych zależy od poziomu konserwatywności szacowania, jaki chcemy osiągnąć. Zalecane jest w pierwszej kolejności zastosowanie zasady najgorszego uzasadnionego przypadku (Reasonable Worst Case – RWC). Żeby oszacować narażenie w najgorszym uzasadnionym przypadku, nale-



**Tabela 1.** Jednostki operacyjne modelu RISKOFDERM [29,30]  
**Table 1.** RISKOFDERM operation units [29,30]

| Nazwa<br>Name  | Opis<br>Description  |
|--|--|
| Napełnianie, mieszanie i załadunek / Filling, mixing and loading         | Celem procesu jest przeniesienie produktu z jednego pojemnika do drugiego np. ważenie proszków, wysypywanie/ /wysypywanie proszków, pompowanie cieczy, wlewanie płynów, czerpanie cieczy lub pasty, itp. Do procesu tego nie jest zaliczane mieszanie mechaniczne, w trakcie którego pracownik nie ma bezpośredniej styczności z mieszalnikiem. Do typowych przykładów takich procesów należą: pakowanie farb do puszek, wysypywanie proszków z toreb do dozowników, wlewanie środka czyszczącego do wiadra z wodą i mieszanie zawartości narzędziem ręcznym / Weighing of powders, dumping of powders from bags of drums, pumping of liquids, pouring of liquids, scooping of liquids or pastes, etc. The purpose of the process is to transfer a product from one container to another. Mechanical mixing without the worker's direct contact with the mixer is not included. Typical examples of this process: packaging paint in cans, dumping powders from bags in hoppers, pouring a cleaning agent into a bucket of water and stirring the mixture with a spatula |
| Czyszczenie / Wiping   | Czyszczenie powierzchni cieczą w tym również cieczą zawierającą środki czyszczące. Czynność może odbywać się za pomocą gąbki, szmatki lub innego przedmiotu bez uchwytu, a celem jest rozprowadzenie produktu na powierzchni. Do typowego przykładu takiego procesu należy mycie samochodu za pomocą gąbki / Wiping surfaces with a liquid, including e.g., cleaning agents. This is done with a sponge, rag, piece of cloth or other "tool" without a handle and the purpose is to spread a product over a surface. Typical example of this process is car cleaning with a sponge   |
| Nanoszenie za pomocą narzędzi ręcznych / Dispersion by hand-held tools   | Ręczne nanoszenie (rozprowadzanie) produktów za pomocą narzędzia z uchwytem, takiego jak pędzel, wałek lub narzędzie z długim trzonkiem. Celem jest rozprowadzenie produktu na powierzchni. Do typowych przykładów takiego procesu należą: nakładanie farby pędzlem lub wałkiem i nakładanie kleju packą / Manual dispersion of products by means of tools with a handle, such as a brush, roller or rake, with the purpose to spread a product over a surface. Typical example of this process: painting with a brush or roller applying glue with a glue comb  |
| Natryskiwanie / Spraying   | Natryskowe nanoszenie produktów, takich jak farby, kleje, środki czyszczące w celu rozprowadzenia produktu na powierzchni. Do procesu tego nie jest zaliczane polewanie powierzchni wodą z węża pod niezwiększonym ciśnieniem. Do typowych przykładów takiego procesu należą: natryskowe malowanie samochodów i natryskowe nanoszenie środków czyszczących w celu usunięcia farby / Spray application of products, such as paints, glues, cleaning agents with the purpose to spread a product on a surface. Hosing down a surface with water under normal pressure is not included. Typical example of this process: spray painting a car, spray application of cleaning agents in graffiti removal   |
| Zanurzanie / Immersion   | Zanurzanie przedmiotów w produkcie. W tym przypadku występuje narażenie na produkt lub jego składnik, w którym przedmiot jest zanurzany, a nie na sam przedmiot. Do procesu tego zalicza się zarówno zanurzenie mechaniczne (w trakcie którego pracownik nie dotyka samego przedmiotu w chwili zanurzenia), jak również ręczne zanurzenie, gdy pracownik trzyma przedmiot w czasie zanurzenia). Do typowych przykładów takiego procesu należą: zanurzanie przedmiotu w środku odtłuszczającym i malowanie przedmiotów poprzez zanurzenie w farbie / Immersing objects into a product. The exposure is to (a component of) the product into which the object is immersed and not to the object itself. It includes both mechanical immersion (where the object itself is not touched by the worker at the time of immersion), as well as manual immersion (where the worker holds the object at the time of immersion). Typical examples of this process: dipping an object in a degreasing agent and painting objects by dipping into a paint tank                       |
| Obróbka mechaniczna ciał stałych / Mechanical treatment of solid objects | Obróbka ciał stałych powodująca emisję i narażenie na składniki ciała stałego np. piłowanie, gładzenie, wiercenie itp. Ocena może obejmować narażenie na produkty stosowane w procesie i emitowane składniki ciała stałego w tym samym procesie. Dotyczy to na przykład płynów do obróbki metali. Do typowych przykładów takiego procesu należą: polerowanie metali lub piłowanie drewna / Treatment of solid objects leading to emission of and exposure to components of the solid object. This includes for example sawing, honing, drilling, etc. Exposure to products used in the process and emitted together with the components of the solid object in the same process is also included. This includes e.g., metal working fluids. Typical examples of this process: metal polishing and sawing wood  |

ży wprowadzić wartości parametrów, jakie by wówczas wystąpiły. Należy wziąć pod uwagę, że kombinacja tych wartości będzie w rzeczywistości występowała rzadko i nie zawsze może być uzasadniona, stąd należy rozważać tylko takie najgorsze przypadki, które są racjonalne i uzasadnione. Żeby uzyskać „typowe” wyniki oszacowania, należy wpisać „typowe” wartości wejściowe.

Byłaby to na przykład opcja reprezentująca najczęściej występującą sytuację.

W przypadku czasu trwania należy uważać, żeby wprowadzić tylko rzeczywisty czas wykonywanej czynności. Rozważmy konkretną sytuację – np. malowanie natryskowe, które pracownik wykonuje jako najistotniejszą czynność podczas zmiany roboczej. Nie

oznacza to jednak, że proces rozpylania trwa przez całą zmianę roboczą, tj. 8 godz. Pracownik przeznaczając znacznie więcej czasu na przygotowanie przedmiotu do malowania, mieszanie farby, przemieszczanie obiektów z jednego miejsca na drugie, czyszczenie pistoletu natryskowego, czyszczenie roboczego miejsca pracy itp.

Czas trwania wszystkich tego rodzaju czynności nie powinien być dodawany do czasu trwania natryskiwania. Do modelu należy wprowadzić tylko rzeczywisty czas wykonywania czynności, który jest znacznie krótszy. Należy uważać, żeby nie wprowadzać wartości prędkości dozowania lub czasu trwania czynności, które nie są uzasadnione. Stosowanie nieracjonalnych wartości prędkości dozowania i czasu trwania czynności prowadzi do nieracjonalnych rezultatów, np. do znacznie przeszacowanego narażenia.

Należy pamiętać, że połączenie dużej prędkości nanoszenia, długiego czasu trwania i wysokich innych wartości wejściowych, dających w rezultacie wysokie narażenie, zdarza się rzadko albo nawet nie zdarza się wcale. Dlatego zawsze należy sprawdzić, czy dana kombinacja parametrów wejściowych jest realistyczna. Do obliczania prędkości dozowania należy stosować czas trwania czynności, który zwykle jest krótszy niż czas trwania zmiany roboczej.

W realnych warunkach wartości wejściowe często nie są wartościami jednostajnymi. Prędkość dozowania może się zmieniać z dnia na dzień, a pracownik może pracować przez jakiś okres w nadgodzinach, a w innym okresie w zmniejszonym wymiarze godzin. Do modelowania trzeba wybrać określoną wartość dla każdego parametru wejściowego.

Dla substancji wysoce lotnych oceniana ekspozycja na skórę jest mniejsza niż w przypadku substancji niskolotnych, z uwagi na skrócenie czasu retencji substancji na skórze, co powoduje konieczność korekcji wyniku przez użytkownika modelu poprzez uwzględnienie czasu parowania.

Żeby uzyskać informacje na temat wpływu danego parametru na poziom narażenia, można uruchomić model kilkakrotnie przy różnych wartościach wejściowych.

#### **Dane wyjściowe modelu RISKOFDERM [29,30]**

Podstawowe szacunki dokonane za pomocą RISKOFDERM obejmują potencjalne narażenie na minutę dla skóry rąk i/lub pozostałej części ciała ( $\mu\text{l}/\text{min}$  lub  $\text{mg}/\text{min}$ ). Całkowita ekspozycja ( $\mu\text{l}$  lub  $\text{mg}$  na skórę rąk i/lub pozostałej części ciała) jest obliczana po wprowadzeniu czasu trwania czynności prowadzącej

do ekspozycji. Wyniki szacowania są odczytywane w niebieskich polach. Widoczna jest mediana (50. percentyl) rozkładu narażenia i wartość dla dowolnego wprowadzonego przez użytkownika percentyla.

Percentyl wyraża prawdopodobieństwo, że wartość narażenia obliczona na podstawie kombinacji wartości wejściowych będzie niższa od wartości rzeczywistej. Na przykład wartość dla percentyla 5. jest wartością, przy której oczekuje się, że tylko 5% rzeczywistych wartości narażenia będzie na poziomie równym lub niższym od tej wartości. Wartość dla 95. percentyla jest wartością, na której poziomie lub poniżej której znajdzie się, zgodnie z przewidywaniami, 95% rzeczywistych wartości narażenia.

Zestawienie danych wejściowych i wyników można wydrukować. Rozkład percentylowy oszacowanego narażenia przedstawiony jest w programie w formie graficznej i tabelarycznej. Zostaje on wyświetlony po kliknięciu w pole „Overview results” (podsumowanie wyników). Końcowy wynik jest iloczynem współczynnika potencjalnego narażenia i tzw. modyfikatorów zmniejszających lub zwiększających narażenie, tj. pewnych domyślnych wartości ustalonych ze względu na właściwości substancji (lepkość, rozmiar cząstek, wilgotność, zanieczyszczenie, przyczepność), charakterystykę stanowiska pracy (temperatura procesu, pozycja pracownika, sposób wykonywania czynności, ilość produktu) i środki prewencji (poziom automatyzacji procesu, wentylacja, oddzielenie pracownika od źródła, zamknięcie procesu) [32,28].

#### **Ocena narażenia**

##### **w ciągu jednego dnia roboczego [29,30]**

Jak już wspomniano, model narażenia dermalnego RISKOFDERM szacuje narażenie dla danego procesu wykonywanego przez określony czas, zwykle znacznie krótszy niż czas trwania pełnej zmiany roboczej. Całkowite narażenie w ciągu 1 zmiany roboczej można wstępnie obliczyć przez zsumowanie wyników szacowań dla poszczególnych procesów. Szacowanie narażenia dla różnych procesów realizowanych w trakcie tej samej zmiany roboczej i ocena pełnego obrazu 1 procesu oraz szacowane wartości łącznego (sumarycznego) narażenia mogą stanowić podstawę do szacunkowej oceny narażenia w danym dniu roboczym.

Należy zdawać sobie sprawę, że w wielu sytuacjach proste zsumowanie wartości dla poszczególnych procesów oszacowanych za pomocą RISKOFDERM często nie odzwierciedla prawdziwego narażenia. Wynik takiego podsumowania będzie wykazywał tendencję



do przeszacowania narażenia w ciągu zmiany roboczej, ponieważ zanieczyszczenia można usunąć z powierzchni skóry poprzez wycieranie i mycie (celowe i niecelowe), przeniesienie na inne powierzchnie, kontakt z nimi oraz w wyniku odparowania (w przypadku lotnych substancji). Należy również pamiętać, że zdolność skóry do zatrzymywania zanieczyszczeń jest ograniczona.

Stężenie 90. percentyla uważa się za najgorszy uzasadniony przypadek zalecany w podejściu konserwatywnym [2]. Sumując narażenie dla różnych procesów, należy pamiętać, że połączenie wartości szacowanych dla najgorszych uzasadnionych przypadków może prowadzić do uzyskania zawyżonej sumarycznej wartości narażenia. Dlatego w praktyce w przypadku sumowania oszacowanych stężeń za wiarygodną przyjmuje się oszacowaną wartość 75. percentyla.

#### **Przykład szacowania narażenia w ciągu dnia roboczego [29,30]**

Lakiernik samochodowy maluje do 5 samochodów dziennie. Zadanie polega na oszacowaniu jego narażenia dermalnego na związek zawarty w lakierze podkładowym. Przyjęto, że narażenie pracownika nie jest związane ze stosowaniem innych produktów. Lakiernik wykonuje następujące czynności: napełnianie, mieszanie lakieru i ładowanie (napełnianie pistoletu natryskowego), natryskiwanie (właściwe malowanie natryskowe) i wycieranie do czysta pistoletu natryskowego (po jego oczyszczeniu w automatycznej myjce do czyszczenia pistoletów natryskowych). Wszystkie te czynności są wykonywane przy wydajnej miejscowej wentylacji wywiewnej.

Natryskiwanie jest skierowane głównie do dołu, a wycieranie – w kierunku poziomym lub w dół. Malarz zużywa 20 l lakieru podkładowego. Czas wykonywania tych czynności, uśredniony dla 5 samochodów na 1 dzień, wynosi: napełnianie, mieszanie i ładowanie – 30 min, natryskiwanie – 200 min i wycieranie – 5 min. Prędkość nanoszenia wynosi odpowiednio: 0,67 l/min (napełnianie, mieszanie i ładowanie), 0,1 l/min (natryskiwanie) i 0,005 l/min (wycieranie).

Szacowane poziomy narażenia zawodowego przez skórę, wyrażone jako całkowita objętość lakieru mającego kontakt ze skórą dłoni, wynoszą:

- napełnianie, mieszanie i ładowanie: 20,8 µl dla 50. percentyla, 64,7 µl dla 75. percentyla i 180 µl dla 90. percentyla,
- natryskiwanie – 398 µl dla 50. percentyla, 1330 µl dla 75. percentyla i 3960 µl dla 90. percentyla,

- wycieranie – 5,5 µl dla 50. percentyla, 12,8 µl dla 75. percentyla i 27,4 µl dla 90. percentyla.

Szacowana wartość narażenia w ciągu dnia roboczego dla 50. percentyla wyniosłaby 424,3 µl lakieru. Zsumowanie wartości dla 90. percentyli jako najgorszy uzasadniony przypadek dałoby konserwatywną wartość narażenia wynoszącą 4167,4 µl lakieru. Dlatego zsumowano wartości dla 75. percentyla i uzyskano wartość 1407,5 µl lakieru. Wartość ta jest prawie 3-krotnie niższa od wartości RWC. Żeby oszacować narażenie na dany składnik lakieru, należy pamiętać o uwzględnieniu zawartości procentowej tego składnika w lakierze.

#### **Ocena skuteczności modelu RISKOFDERM [29,30]**

Badania porównawcze skuteczności modelu w przypadku różnych procesów wykazały, że ogólne działanie RISKOFDERM oceniono jako dobre w przypadku procesów napełniania, mieszania i załadunku oraz czyszczenia i obróbki mechanicznej [33]. W przypadku zanurzania analiza statystyczna wykazała słabe dopasowanie danych modelowych do empirycznych, natomiast w pozostałych procesach stwierdzano umiarkowany odsetek wyjaśnionej zmienności działania modelu.

W przypadku procesu „napełnianie, mieszanie lub załadunek” walidacja modelu jest oparta na następujących 195 zestawach danych pomiarowych, dotyczących wyłącznie narażenia rąk: mieszanie farby przeciwporostowej (N = 9), przelewanie moczu podczas monitoringu skórnej ekspozycji zawodowej na cyklofosfamid w holenderskich szpitalach (N = 26), nasypywanie, pakowanie i ważenie węgla wapnia (N = 61), ładowanie i napełnianie pojemników 2-(2-butoksyetoksy)etanolem (N = 58), ładowanie tlenku cynku (N = 12) i napełnianie pistoletów natryskowych farbą/lakierem (N = 29) [34]. Podczas szacowania narażenia model uwzględnia następujące parametry w przypadku omawianego procesu:

- zastosowanie mechanicznej lub miejscowej wentylacji wywiewnej z uwzględnieniem wydajności wentylacji,
- częstotliwość i rodzaj kontaktu z zanieczyszczeniem,
- postać fizykochemiczna,
- pylistość w przypadku ciał stałych,
- możliwość powstawania aerozolu lub rozprysnięcia produktu podczas procesu,
- poziom automatyzacji procesu,
- prędkość aplikacji produktu,
- łączny czas trwania czynności w trakcie zmiany roboczej.

W przypadku procesu „czyszczenie” model można stosować tylko dla cieczy, ponieważ nie dysponowano żadnymi danymi na temat czyszczenia za pomocą substancji stałych (np. ręcznego rozprowadzania proszków na powierzchni). Model ten jest oparty na następujących 79 zestawach danych dla rąk i 57 zestawach danych dla ciała: wycieranie pacjentów w szpitalu (N = 26), mycie samochodu (N = 24), usuwanie graffiti (N = 26) i wycieranie roztworów substancji biobójczych (N = 60) [34]. Podczas szacowania narażenia model uwzględnia następujące parametry w przypadku procesu „czyszczenie”:

- rodzaj kontaktu z zanieczyszczoną powierzchnią,
- prędkość wycierania,
- łączny czas trwania czynności w trakcie zmiany roboczej.

W przypadku procesu „nanoszenie przy użyciu narzędzi ręcznych” model można stosować tylko dla cieczy. Twórcy modelu nie dysponowali żadnymi danymi pomiarowymi dotyczącymi dyspergowania ciał stałych za pomocą ręcznych narzędzi (np. proszku za pomocą pędzla na powierzchni). Model ten jest oparty na 224 zestawach danych pomiarowych: rozpraszanie farby szkodniczej za pomocą ręcznego narzędzia (N = 12), dyspergowanie konserwantów do drewna (N = 25), walcowanie styrenu (N = 75), malowanie farbą zawierającą 2-(2-butoksyetyloksy)etanol (N = 24), drukowanie jedwabiu (N = 36), lakierowanie parkietu (N = 42) i nanoszenie pędzlem N-metylopirolidonu (N = 10) [34]. Następujące parametry wejściowe są istotne dla procesu „rozpraszanie za pomocą ręcznych narzędzi”:

- kierunek nanoszenia,
- lepkość наносzonego produktu (określana w porównaniu z lepkością wody, oleju, syropu albo miodu),
- długość uchwytu narzędzi: model rozróżnia narzędzia z trzonkami o długości  $\leq 30$  cm (jeżeli długie uchwyty są trzymane ręką w pobliżu zanieczyszczonej części, można uznać, że uchwyt należy do pierwszej grupy),
- prędkość nanoszenia produktu,
- łączny czas trwania czynności w trakcie zmiany roboczej.

Dla „natryskiwania” model jest oparty na pomiarach wykonywanych podczas: natryskiwania biocydów, w tym insektycydów (N = 242), natryskiwania farb przeciwporostowych (N = 93), kontrolowanej aplikacji różnych cieczy (N = 12), lakierowania samochodu (N = 60), malowania proszkowego (N = 40) i czysz-

czenia pianowego (N = 24) [34]. Istotne parametry wejściowe dla tego procesu obejmują:

- miejsce natryskiwania (np. natryskiwanie proszków odbywało się zawsze w pomieszczeniu),
- kierunek natryskiwania (do góry, poziomo czy w dół),
- kierunek przepływu powietrza wydostającego się ze źródła,
- odseparowanie pracownika od źródła narażenia,
- odległość pracownika od źródła ( $\leq 1$  m lub  $> 1$  m),
- lotność rozpuszczalnika (wyrażona poprzez porównanie z lotnością wody lub innych rozpuszczalników, np. acetonu),
- postać fizykochemiczna,
- prędkość nanoszenia produktu,
- łączny czas trwania czynności w trakcie zmiany roboczej.

W przypadku procesu „zanurzenie” model jest przeznaczony tylko do szacowania narażenia na ciecz. Model został oparty na 81 zestawach danych uzyskanych z procesu galwanizacji, obejmujących narażenie skóry na chrom, i procesu odtłuszczania rozpuszczalnikiem zawierającym metylopirolidon [34]. Analiza statystyczna wskazała na słabe dopasowanie danych modelowych do empirycznych w przypadku tego procesu. Model w tym przypadku uwzględnia następujące parametry wejściowe:

- zastosowanie miejscowej wentylacji wyciągowej,
- odległość pracownika od źródła ( $< 30$  cm,  $30-100$  cm,  $> 100$  cm),
- łączny czas trwania czynności w trakcie zmiany roboczej.

W przypadku „obróbki mechanicznej przedmiotów” model jest przydatny tylko do szacowania narażenia całego ciała, ponieważ nie ma odpowiednich danych pomiarowych obejmujących narażenie samych rąk. Model ten jest oparty na następujących 98 zestawach danych dotyczących różnych procesów obróbki mechanicznej: narażenie na ciecz smarująco-chłodzące podczas obróbki metalu skrawaniem (N = 40), piłowanie drewna i ciesielstwo (N = 29) oraz szlifowanie stali kwasoodpornej (N = 29) [34]. Istotne parametry wejściowe to:

- stan skupienia badanej substancji (model można stosować w tym przypadku zarówno do cieczy, jak i ciał stałych),
- odległość pracownika od źródła ( $< 30$  cm,  $30-100$  cm,  $> 100$  cm),
- częstotliwość kontaktu pracownika z zanieczyszczeniem w trakcie wykonywania zadania (rzadko, nieregularnie, często lub stale),

- łączny czas trwania czynności w trakcie zmiany roboczej.

## WNIOSKI

Problem oceny narażenia na chemikalia poprzez kontakt ze skórą jest zasadniczy. Oceniono, że w wielu sektorach, jak np. drukarstwo, obróbka metali, obróbka żywności, wielobranżowe malowanie, usługi kosmetyczne i opieka zdrowotna, liczba przypadków zapalenia skóry znacznie przekracza liczbę zawodowych zachorowań ze strony dróg oddechowych [35]. Jednocześnie ocena narażenia dermalnego wydaje się być poza nawiasem w aspekcie uregulowań prawnych. Dlatego konieczne jest szukanie rozwiązań, które pozwalałyby pracodawcy właściwie ocenić narażenie, a następnie ryzyko i poprzez zastosowanie odpowiednich środków prewencji poprawić warunki pracy.

Użycie modelu RISKOFDERM do szacowania narażenia dermalnego może podnieść jakość oceny ryzyka, a przez to skuteczność sterowania ryzykiem. W przypadku braku danych z pomiarów użycie modelu umożliwia ocenę potencjalnego narażenia pracowników. Ocena ta dostarcza informacji, który czynnik wpływa w największym stopniu na poziom narażenia w badanej sytuacji i jaka modyfikacja scenariusza narażenia będzie najefektywniejsza w procesie sterowania ryzykiem. Dzięki wykorzystaniu modeli bezpomiarowych liczba wykonywanych przez pracodawców ocen ryzyka mogłaby wzrosnąć, co poprawiłoby bezpieczeństwo i higienę pracy pracowników.

Po analizie przedstawionego materiału można stwierdzić, że za pomocą metody bezpomiarowej RISKOFDERM można sprawnie oszacować narażenie na niskotłoczne ciekłe substancje chemiczne (ciśnienie pary < 500 Pa) w kontakcie ze skórą. Możliwości stosowania modelu w przypadku substancji stałych (pyłów) są w pewnym stopniu ograniczone. Nie jest to metoda doskonała i pozbawiona wad. Jest dostępna wyłącznie w języku angielskim, co znacznie utrudnia korzystanie przeciętnemu polskiemu użytkownikowi. Zbiór informacji, które są potrzebne do modelowania, nie zawsze jest łatwo dostępny dla oceniającego (np. szybkość użycia substancji, kierunek przepływu powietrza itp.). Model nie uwzględnia efektu ochronnego odzieży i rękawic. Szacowanie obejmuje wyłącznie powierzchnię skóry rąk lub całego ciała. Dalsze różnicowanie jest niemożliwe, a jednocześnie algorytmy dla potencjalnego narażenia rąk lub ciała nie są dostępne dla wszystkich jednostek operacyjnych DEO.

Ponadto w ramach jednostek operacyjnych DEO nie wszystkie możliwe sytuacje zostały poddane walidacji w oparciu o dane pomiarowe. Jednocześnie należy podkreślić, że walidacja i adekwatność modelu zostały stosunkowo dobrze udokumentowane i może on być z powodzeniem stosowany w sytuacjach przypominających te, dla których pomiary były podstawą dla modelu [34].

Model RISKOFDERM został opracowany w oparciu o wyniki rzeczywistych pomiarów w krajach Europy Zachodniej, odzwierciedlających sytuację w przemyśle tych krajów. Przy stosowaniu go w Europie Wschodniej należy zachować ostrożność i brać pod uwagę lokalne uwarunkowania. Dlatego niezbędne jest zbadanie możliwości stosowania modeli w Polsce. Zasadne byłoby przeprowadzenie analizy porównawczej zmierzonych i oszacowanych poziomów narażenia dermalnego wybranych substancji chemicznych w oparciu o dane z pomiarów w polskich zakładach pracy z różnych sektorów przemysłowych i zawodowych.

W celu prawidłowego przeprowadzenia oceny narażenia przy użyciu modeli niezbędna jest wiedza na temat działania modelu, możliwości jego zastosowania i wielkości niepewności oszacowania narażenia. Wyniki uzyskane za pomocą tych narzędzi powinny być interpretowane z ostrożnością. Dlatego konieczne są szkolenia, opracowanie użytecznych poradników na temat stosowania modeli i tworzenie algorytmów postępowania dla kompleksowej oceny narażenia dermalnego.

Biorąc pod uwagę małą popularność stosowania w ocenie narażenia zawodowego metod bezpomiarowych wśród polskich użytkowników, należy wskazać, że wzorem innych państw Unii Europejskiej niezbędne jest stworzenie przejrzystego rozwiązania prawnego, które umożliwiłoby stosowanie metod bezpomiarowych do oceny narażenia jako alternatywy lub uzupełnienia metod pomiarowych.

## PIŚMIENNICTWO

1. Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywę Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE. DzU UE z 2007 r., L 136 z późn. zm.

2. European Chemicals Agency: Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R. 14: Occupational exposure estimation [Internet]: Agency, Helsinki 2016 [cytowany 8 sierpnia 2016]. Adres: [https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/information\\_requirements\\_r14\\_en.pdf](https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/information_requirements_r14_en.pdf)
3. Noij D., Benelux D.: ART in the context of tiered approaches for exposure assessment and chemical safety assessment [Internet]: European Chemical Industry Council, Brussels 2012 [cytowany 30 kwietnia 2016]. Adres: <http://www.cefic.org/Documents/IndustrySupport/REACH-Implementation/Workshops/Cefic-Training-on-the-Advanced-REACH-Tool-20-April-2012-Presentations/intro-ARTworkshop-DNoij.pptx>
4. Gromiec J.P., Kupczewska-Dobacka M., Jankowska A., Czerczak S.: Bezpośrednia ocena narażenia zawodowego na substancje chemiczne – nowe wyzwanie dla pracodawców. *Med. Pr.* 2013;64(5):699–716, <https://doi.org/10.13075/mp.5893.2013.0058>
5. Dobrzyńska E., Pośniak M.: Niebezpieczne substancje chemiczne – narzędzia wspomagające ocenę ryzyka zawodowego. *Med. Pr.* 2014;65(5):683–692, <https://doi.org/10.13075/mp.5893.00157>
6. European Chemicals Agency [Internet]: Agency, 2017 [cytowany 13 czerwca 2017]. Adres: <https://echa.europa.eu/pl/home>
7. Cherrie J.W., Tickner J., Friar J., Creely K.S., Soutar A.J., Hughson G. i wsp.: Evaluation and further development of the EASE model 2.0 [Internet]: Health and Safety Executive, Sudbury 2003 [cytowany 31 maja 2016]. Adres: <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr136.pdf>
8. Creely K.S., Tickner J., Soutar A.J., Hughson G.W., Pryde D.E., Warren N.D. i wsp.: Evaluation and further development of EASE model 2.0. *Ann. Occup. Hyg.* 2005;49(2):135–145, <https://doi.org/10.7243/2050-1323-3-1>
9. European Commission [Internet]: Commission, 2016 [cytowany 12 kwietnia 2016]. The European Union system for the evaluation of substances. Adres: <https://ec.europa.eu/jrc/en/scientific-tool/european-union-system-evaluation-substances>
10. Health and Safety Executive [Internet]: Executive, Bootle 2003 [cytowany 30 kwietnia 2013]. Technical basis for COSHH essentials – Easy steps to control chemicals. Adres: <http://www.coshh-essentials.org.uk/assets/live/CETB.pdf>
11. Garrod A.N., Rajan-Sithamparanadarajah R.: Developing COSHH essentials: Dermal exposure, personal protective equipment and first aid. *Ann. Occup. Hyg.* 2003;47:577–588, <https://doi.org/10.1093/annhyg/meg089>
12. Van-Wendel-de-Joode B., Brouwer D.H., Vermeulen R., van Hemmen J.J., Heederik D., Kromhout H.: DREAM: A method for semi-quantitative dermal exposure assessment. *Ann. Occup. Hyg.* 2003;47(1):71–87, <https://doi.org/10.1093/annhyg/meg012>
13. Stoffenmanager [Internet]: Stoffenmanager, Amstelveen 2017 [cytowany 4 sierpnia 2016]. Adres: <https://www.stoffenmanager.nl>
14. Tielemans E., Noy D., Schinkel J., Heussen H., van der Schaaf D., West J. i wsp.: Stoffenmanager exposure model: Development of a quantitative algorithm. *Ann. Occup. Hyg.* 2008;52(7):443–454, <https://doi.org/10.1093/annhyg/men033>
15. Stoffenmanager [Internet]: Stoffenmanager, Amstelveen 2017 [cytowany 4 sierpnia 2016]. Wstęp. Adres: <https://stoffenmanager.nl/Public/Explanation.aspx>
16. Schneider T., Vermeulen R., Brouwer D.H., Cherrie J.W., Kromhout H., Fogh C.L.: Conceptual model for assessment of dermal exposure. *Occup. Environ. Med.* [Internet]: 1999 [cytowany 30 sierpnia 2016];56:765–773. Adres: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1757678/pdf/v056p00765.pdf>
17. Schneider T., Cherrie J.W., Vermeulen R., Kromhout H.: Dermal exposure assessment. *Ann. Occup. Hyg.* 2000;44(7):493–499, <https://doi.org/10.1093/annhyg/44.7.493>
18. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals [Internet]: Centre, 2017 [cytowany 30 sierpnia 2016]. Targeted risk assessment (TRA). Adres: <http://www.ecetoc.org/tools/targeted-risk-assessment-tra>
19. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals: Targeted risk assessment. Technical report No. 93 [Internet]: Centre, Brussels 2004 [cytowany 3 sierpnia 2016]. Adres: <http://www.ecetoc.org/wp-content/uploads/2014/08/ECETOC-TR-093.pdf>
20. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals: Targeted risk assessment. Technical report No. 107 [Internet]: Centre, Brussels 2009 [cytowany 3 sierpnia 2016]. Adres: <http://www.ecetoc.org/wp-content/uploads/2014/08/ECETOC-TR-107-Addendum-to-ECE-TOC-TRA-report-93.pdf>
21. EBRC Services for the Chemical Industries [Internet]: Services, Hannover 2017 [cytowany 5 maja 2016]. MEASE – The metal's EASE – Occupational exposure assessment tool for REACH. Adres: <http://www.ebrc.de/industrial-chemicals-reach/projects-and-references/mease.php>
22. Blanco L.E., Aragon A., Lundberg I., Wesseling C., Nise G.: The determinants of dermal exposure ranking method (DERM): A pesticide exposure assessment approach for developing countries. *Ann. Occup. Hyg.* 2008;52(6):535–544, <https://doi.org/10.1093/annhyg/men035>
23. United States Environmental Protection Agency [Internet]: Agency, Washington 2016 [cytowany 4 sierpnia 2016].

- Occupational pesticide handler exposure data. Adres: <https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/occupational-pesticide-handler-exposure-data>
24. Dosemeci M., Alavanja M.C., Rowland A.S., Mage D., Zahm S.H., Rothman N. i wsp.: A quantitative approach for estimating exposure to pesticides in the Agricultural Health Study. *Ann. Occup. Hyg.* 2002;46(2):245–246
  25. Oppl R., Kalberlah F., Evans P.G., van Hemmen J.J.: A toolkit for dermal risk assessment and management: An overview. *Ann. Occup. Hyg.* 2003;47(8):629–624, <https://doi.org/10.1093/annhyg/meg069>
  26. Warren N.D., Marquart H., Christopher Y., Laitinen J., van Hemmen J.J.: Task-based dermal exposure models for regulatory risk assessment. *Ann. Occup. Hyg.* 2006;50(5):491–503, <https://doi.org/10.1093/annhyg/mel014>
  27. Van Hemmen J.J., Auffarth J., Evans P.G., Rajan-Sithamparamanadarajah B., Marquart H., Oppl R.: RISKOFDERM: Risk assessment of occupational dermal exposure to chemicals. An introduction to a series of papers on the development of a toolkit. *Ann. Occup. Hyg.* 2003;47(8):595–598, <https://doi.org/10.1093/annhyg/meg094>
  28. Marquart J., Brouwer D.H., Gijsbers J.H.J., Links I.H.M., Warren N., van Hemmen J.J.: Determinants of dermal exposure relevant for exposure modelling in regulatory risk assessment. *Ann. Occup. Hyg.* 2003;47(8):599–607, <https://doi.org/10.1093/annhyg/meg096>
  29. European Chemicals Agency [Internet]: Agency, 2017 [cytowany 17 maja 2017]. Calculator for RISKOFDERM Dermal Model. Adres: [https://echa.europa.eu/pl/view-article/-/journal\\_content/title/support-biocides-heeg-opinions](https://echa.europa.eu/pl/view-article/-/journal_content/title/support-biocides-heeg-opinions)
  30. Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, Health and Safety Laboratory: The RISKOFDERM dermal exposure model. Guidance Document. Organisation, Zeist 2006
  31. Kromhout H., Fransman W., Vermeulen R., Roff M., van Hemmen J.J.: Variability of task-based dermal exposure measurements from a variety of workplaces. *Ann. Occup. Hyg.* 2004;48(3):187–196, <https://doi.org/10.1093/annhyg/meh030>
  32. Goede H.A., Tijssen S.C.H.A., Schipper H.J., Warren N., Oppl R., Kalberlah F., van Hemmen J.J.: Classification of dermal exposure modifiers and assignment of values for a risk assessment toolkit. *Ann. Occup. Hyg.* 2003;47(8):609–618, <https://doi.org/10.1093/annhyg/meg070>
  33. Hughson G.W., Aitken R.J.: Determination of dermal exposures during mixing, spraying and wiping activities. *Ann. Occup. Hyg.* 2004;48(3):245–255, <https://doi.org/10.1093/annhyg/meh027>
  34. Marquart H., Warren N.D., Laitinen J., van Hemmen J.J.: Default values for assessment of potential dermal exposure of the hands to industrial chemicals in the scope of regulatory risk assessments. *Ann. Occup. Hyg.* 2006;50(5):469–489, <https://doi.org/10.1093/annhyg/mel012>
  35. Boeniger M.F.: The significance of skin exposure. *Ann. Occup. Hyg.* 2003;47(8):591–593, <https://doi.org/10.1093/annhyg/meg095>