

Małgorzata Kupczewska-Dobecka<sup>1</sup>  
Sławomir Czerczak<sup>1</sup>, Marek Jakubowski<sup>2</sup>  
Piotr Maciaszek<sup>2</sup>, Beata Janasik<sup>2</sup>

## ZASTOSOWANIE MODELU PREDYKCYJNEGO DO SZACOWANIA WIELKOŚCI STĘŻEŃ WYBRANYCH SUBSTANCJI CHEMICZNYCH W POWIETRZU ŚRODOWISKA PRACY

APPLICATION OF PREDICTIVE MODEL TO ESTIMATE CONCENTRATIONS OF CHEMICAL SUBSTANCES IN THE WORK ENVIRONMENT

<sup>1</sup> Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Łódź, Zakład Informacji Naukowej  
<sup>2</sup> Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Łódź, Zakład Zagrożeń Chemicznych

### STRESZCZENIE

**Wstęp:** W oparciu o model predykcyjny EASE (Estimation and Assessment of Substance Exposure), implementowany do modelu EUSES 2.1. (The European Union System for the Evaluation of Substances) wyznaczono szacunkowy poziom narażenia i porównano go z danymi pomiarowymi uzyskanymi w miejscu pracy dla trzech wybranych rozpuszczalników organicznych: toluenu, octanu etylu i acetonu. **Materiał i metody:** Zanim przystąpiono do właściwej walidacji programu EASE przetestowano model dla trzech scenariuszy narażenia. Ich odmienność polegała na różnicach w schemacie decyzyjnym sterowania procesem. Do badania wytypowano 5 substancji: 1,4-dioksan, eter *tert*-metylowo-butylowy, dietyloaminę, 1,1,1-trichloroetan i bisfenol A. Po przetestowaniu badanego modelu następnym krokiem była jego walidacja, tj. jednoczesne wyznaczenie szacunkowego poziomu narażenia w oparciu o model pomiarowy i porównanie z danymi pomiarowymi uzyskanymi w miejscu pracy. Dysponowano rezultatami pomiarów stężeń toluenu, octanu etylu i acetonu w powietrzu środowiska pracy w fabryce farb i lakierów, fabryce obuwia i w rafinerii. W celu oszacowania narażenia inhalacyjnego wybrano trzy typy scenariuszy narażenia, które dostosowano do opisu warunków pracy uzyskanych w miejscu dokonywania pomiarów. **Wyniki:** Porównanie wielkości skalkulowanego narażenia dla toluenu, octanu etylu i acetonu z danymi pochodzącymi z pomiarów przeprowadzonych w środowisku pracy wykazało, że przewidywania modelu są zbliżone do wyników pomiarów. Jedynie w przypadku niskich zakresów stężeń wielkości stężeń zmierzonych są wyższe niż przewidywania EASE. **Wnioski:** Model EASE to przejrzysty, konsekwentny system, który może spełniać znaczącą rolę jako dodatkowy element procesu szacowania narażenia inhalacyjnego na substancje chemiczne w powietrzu środowiska pracy. Jeśli dostępne są dane pomiarowe, powinny być one preferowane względem wartości szacunkowych pochodzących z modeli. Program EASE nie tylko pozwala na szacowanie narażenia inhalacyjnego, ale również daje możliwość oceny ryzyka związanego z zagrożeniem oraz przewidywania narażenia pracownika przez skórę. Med. Pr. 2010;61(3):307–314

Słowa kluczowe: EASE, ocena narażenia, toluen, octan etylu, aceton

### ABSTRACT

**Background** Based on the Estimation and Assessment of Substance Exposure (EASE) predictive model implemented into the European Union System for the Evaluation of Substances (EUSES 2.1.), the exposure to three chosen organic solvents: toluene, ethyl acetate and acetone was estimated and compared with the results of measurements in workplaces. **Material and Methods:** Prior to validation, the EASE model was pretested using three exposure scenarios. The scenarios differed in the decision tree of pattern of use. Five substances were chosen for the test: 1,4-dioxane *tert*-methyl-butyl ether, diethylamine, 1,1,1-trichloroethane and bisphenol A. After testing the EASE model, the next step was the validation by estimating the exposure level and comparing it with the results of measurements in the workplace. We used the results of measurements of toluene, ethyl acetate and acetone concentrations in the work environment of a paint and lacquer factory, a shoe factory and a refinery. Three types of exposure scenarios, adaptable to the description of working conditions were chosen to estimate inhalation exposure. **Results:** Comparison of calculated exposure to toluene, ethyl acetate and acetone with measurements in workplaces showed that model predictions are comparable with the measurement results. Only for low concentration ranges, the measured concentrations were higher than those predicted. **Conclusions:** EASE is a clear, consistent system, which can be successfully used as an additional component of inhalation exposure estimation. If the measurement data are available, they should be preferred to values estimated from models. In addition to inhalation exposure estimation, the EASE model makes it possible not only to assess exposure-related risk but also to predict workers' dermal exposure. Med Pr 2010;61(3):307–314

Key words: EASE, exposure assessment, toluene, ethyl acetate, acetone

Adres autorów: Zakład Informacji Naukowej, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera,  
ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: dobecka@imp.lodz.pl  
Nadesłano: 27 listopada 2009; Zatwierdzono: 9 marca 2010

## WSTĘP

Funkcjonujący przez kilkadziesiąt lat w Unii Europejskiej system kontroli chemikaliów nie zapewniał uzyskania informacji niezbędnych do oceny ryzyka chemicznego dla większości substancji znajdujących się w obrocie na terenie Wspólnoty. W poprzednim stanie prawnym za przeprowadzenie oceny ryzyka związanego z substancjami chemicznymi odpowiadały organy władzy publicznej, a nie przedsiębiorstwa, które je produkują, importują bądź stosują. Problemy związane z funkcjonującym systemem oraz pogłębiające się coraz bardziej różnice między poszczególnymi krajami UE w zakresie możliwości bezpiecznego zarządzania chemikaliami spowodowały konieczność wprowadzenia reformy europejskich przepisów dotyczących chemikaliów. Reformą tą jest system REACH — pakiet legislacyjny, zakładający obowiązkową rejestrację substancji chemicznych, ocenę dokumentacji technicznej oraz ocenę substancji, udzielanie zezwoleń na wykorzystywanie substancji do produkcji i obrotu, a także utworzenie Europejskiej Agencji Chemikaliów z siedzibą w Helsinkach — instytucji odpowiedzialnej za funkcjonowanie systemu REACH. W dniu 18 grudnia 2006 roku Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej przyjęła Rozporządzenie (WE) 1907/2006, zwane popularnie REACH (1).

Zgodnie z założeniami REACH instrumentem pozwalającym na ocenę ryzyka substancji chemicznej w jej cyklu życiowym jest ocena bezpieczeństwa chemicznego. Z kolei elementem tej oceny jest ocena narażenia, której dokonuje się dla wszystkich substancji zaklasyfikowanych jako stwarzające zagrożenie lub ocenione jako posiadające właściwości PBT (substancje zaklasyfikowane jako trwałe, ulegające biokumulacji i toksyczne) lub vPvB (substancje bardzo trwałe i bardzo toksyczne). Ocena narażenia obejmuje wszelkie narażenia mogące mieć związek z zagrożeniami zidentyfikowanymi w ramach oceny zagrożenia. Pierwszym krokiem w ocenie narażenia będzie opis jednego lub większej liczby scenariuszy narażenia, które zawierają informacje o aktualnych zastosowaniach substancji w całym łańcuchu dostaw. Drugim krokiem w ocenie narażenia jest oszacowanie narażenia, czyli oszacowanie stężenia, na które ludzie są narażeni, dla różnych dróg narażenia, w warunkach stosowania substancji opisanych w scenariuszach narażenia.

Z innej strony ocena narażenia zawodowego związanego z oddziaływaniem szkodliwych substancji chemicznych należy do niezbędnych działań profilaktycznych, które służą ochronie człowieka w procesie pracy.

Najistotniejszą drogą wchłaniania czynników szkodliwych dla zdrowia w warunkach przemysłowych jest układ oddechowy, a zatem najbardziej wiarygodną metodą oceny narażenia zawodowego są pomiary ich stężeń w powietrzu na stanowiskach pracy oraz porównanie uzyskanych wyników z wartościami obowiązujących dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego. Znajomość stężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w powietrzu pozwala przewidywać skutki zdrowotne narażenia, a także odpowiednio wcześniej stosować środki zaradcze w celu zmniejszenia ryzyka zawodowego.

W idealnym przypadku proces szacowania wielkości narażenia powinien być więc oparty na faktycznych pomiarach dotyczących zastosowania substancji w każdym ze scenariuszy narażenia. Nie zawsze jednak jest to możliwe. Szczegółowe pomiary stężeń czynników szkodliwych prowadzone są według norm lub metod zatwierdzonych przez placówki naukowe związane z bezpieczeństwem pracy. Jest to zadanie trudne, wymagające wysokich kwalifikacji ze względu na znaczną liczbę czynników chemicznych, złożoność procesów technologicznych i zmienność oznaczanych stężeń (2). Zdarza się, że nie ma odpowiedniej metodologii lub też koszty prawidłowo wykonanych badań są niebagatelne. W związku z powyższym często konieczne będzie łączenie faktycznych i modelowanych wartości narażenia lub poleganie wyłącznie na wartościach uzyskanych z modeli. Czasami możliwe również może być dokonanie oceny narażenia w oparciu o dane pomiarowe dotyczące innej substancji, która posiada podobne właściwości fizykochemiczne lub podobne własności w odniesieniu do konsekwencji środowiskowych.

## CEL PRACY

Celem pracy jest wyznaczenie szacunkowego poziomu narażenia w oparciu o model predykcyjny EASE (Estimation and Assessment of Substance Exposure), implementowany do modelu EUSES 2.1. (The European Union System for the Evaluation of Substances), i porównanie go z danymi pomiarowymi uzyskanymi w miejscu pracy dla trzech wybranych rozpuszczalników organicznych: toluenu, octanu etylu i acetonu.

## MATERIAŁ I METODY

W celu określenia narażenia w miejscu pracy można wykorzystać dane pomiarowe i (lub) modele predykcyjne. Zasadniczo istnieje szeroka gama modeli szacowania narażenia, które mogą zostać wykorzystane

do oszacowania narażenia pracowników. Modele te różnią się swoją złożonością i celami. Niektóre modele zostały opracowane z określonym celem bycia prostymi w użyciu, lecz zachowawczymi — te modele najlepiej jest stosować jako modele wstępnej oceny (1. szczebla). Pozwalają one na szybką ocenę określonego zakresu scenariuszy narażenia i środków kontroli ryzyka — np. TRA ECETOC, narzędzie COSHH-BAuA lub Stoffenmanager.

Do innych celów opracowane zostały inne (często bardziej wymagające) modele, np. model narażenia na środki agrochemiczne (np. EUROPOEM) czy produkty biobójcze (np. zbiór modeli w wytycznych technicznych dotyczących narażenia ludzi na produkty biobójcze). Modele te często prowadzą do dokładniejszych szacunków faktycznego narażenia, jednak ponieważ wymagają specjalistycznej wiedzy do ich obsługi, stosowane są jedynie w sytuacjach, gdy podejście 1. szczebla wskazuje na możliwość wystąpienia problemu. Opracowano również podejście modelowe właściwe dla oszacowania narażenia przez kontakt ze skórą (model RISKOFDERM) (3).

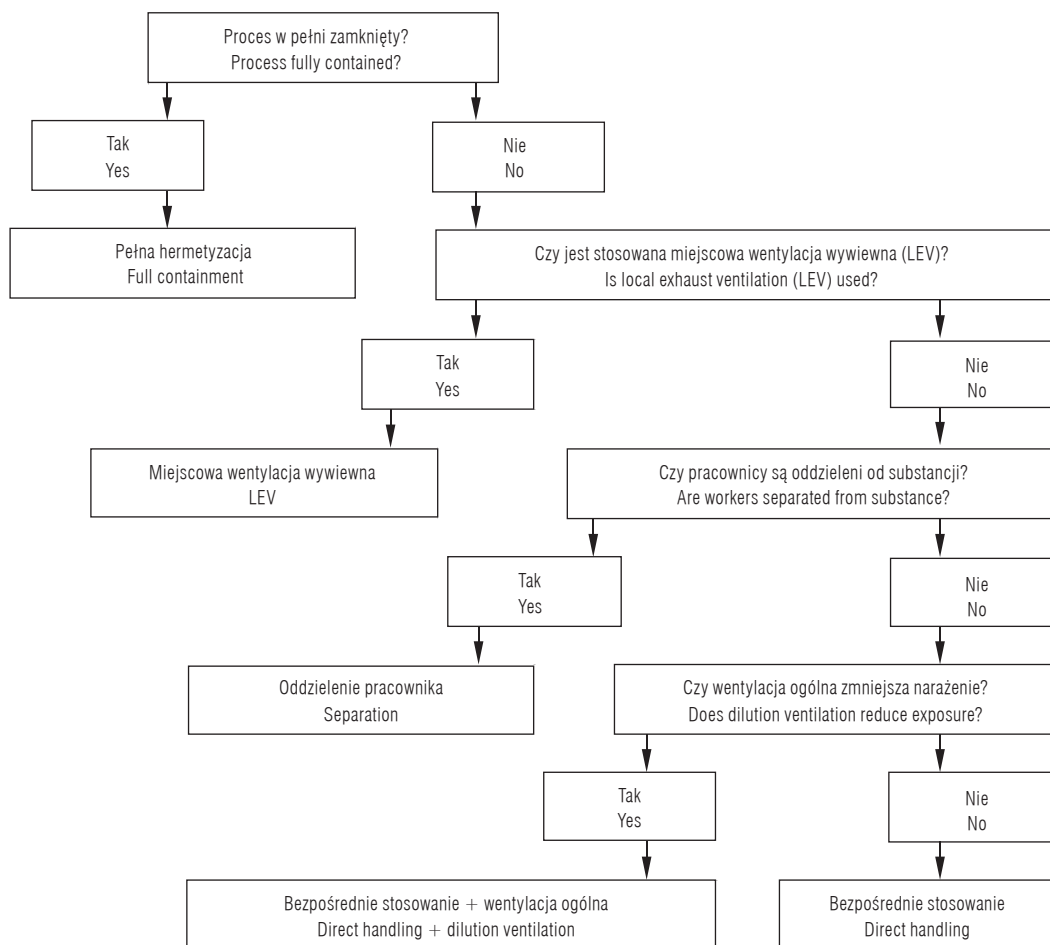
W celu oszacowania narażenia inhalacyjnego pracowników za preferowany model oceny 1. szczebla można uznać model EASE (Estimation and Assessment of Substance Exposure). Jest to moduł implementowany do modelu EUSES 2.1. (The European Union System for the Evaluation of Substances), który został opracowany do jakościowej oceny ryzyka substancji nowych, istniejących, oraz biocydów dla ludzi i środowiska. Jest to dostępny dla wszystkich użytkowników, łatwy do stosowania, nieodpłatny i przyjazny program komputerowy, który znajduje się na stronie internetowej Centrum Badawczego Komisji Europejskiej (Join Research Centre — <http://ecb.jrc.it>).

Zanim przystąpiono do właściwej walidacji programu EASE przetestowano model, uwzględniając różne warunki scenariuszy narażenia. Jako przewodnik w systemie EUSES 2.1. posłużył User Manual, dostępny dla użytkownika na ww. stronie internetowej. Cały system składa się z sześciu głównych modułów: dane wejściowe, oszacowanie uwalniania do środowiska, rozmieszczenie w środowisku, ocena narażenia, charakterystyka skutków narażenia i charakterystyka ryzyka. W pracy wykorzystano wyłącznie moduł oceny narażenia dla inhalacyjnej drogi narażenia. W celu oszacowania narażenia inhalacyjnego pracowników wymagane jest wprowadzenie danych wejściowych obejmujących następujące zmienne czynniki warunkujące:

- Właściwości fizykochemiczne substancji:
  - masa cząsteczkowa,
  - współczynnik podziału oktanol-woda,
  - rozpuszczalność w wodzie,
  - prężność pary,
  - temperatura wrzenia,
  - temperatura topnienia.
- Parametry opisujące scenariusze narażenia:
  - parametry substancji — temperatura procesu, temperatura wrzenia, temperatura topnienia, stan fizyczny substancji, prężność pary w temperaturze procesu, możliwość tworzenia aerozolu / możliwość pylenia substancji, prawdopodobieństwo inhalacji cząstek pyłu, rozmiar cząstek pyłu, typ pyłu, możliwość agregacji cząstek;
  - schemat stosowania — do wyboru są następujące możliwości: system zamknięty, włączenie do matrycy, użycie w wąskim zakresie stosowania tzw. non-dispersive use (proces, w którym substancje są używane w taki sposób, że tylko określona grupa pracowników, mająca wiedzę o procesie, ma z nimi kontakt), szerokie zastosowanie tzw. wide dispersive use (czynności z narażeniem niekontrolowanym, np. malowanie, natryskiwanie);
  - awaryjność systemu: tak/nie;
  - schemat sterowania procesem — jakie środki kontroli ryzyka są stosowane? Pełna hermetyzacja procesu, wentylacja miejscowa wywiewna (LEV — local exhaust ventilation), czy pracownik jest oddzielony od substancji, bezpośrednie użycie/stosowanie, bezpośrednie użycie/stosowanie i wentylacja ogólna;
  - średnia liczba zdarzeń;
  - czas trwania jednego zdarzenia;
  - narażenie na pyły;
  - typ procesu;
  - LEV.

Model wykorzystuje też do obliczeń pewne wartości domyślne, np. szybkość wentylacji płuc u człowieka w czasie ekspozycji zawodowej — 1,5 m<sup>3</sup>/godz., masa ciała człowieka — 70 kg. Schemat decyzyjny dotyczący sterowania procesem przedstawiono na rycinie 1.

Do testowania programu wybrano trzy scenariusze narażenia (A, B, C) opisane przez ww. stałe i zmienne parametry. Przyjęto, że temperatura procesu wynosi 20°C dla każdego scenariusza narażenia. Założono, że pracownik ma kontakt z substancją 5 razy dziennie, a czas trwania jednego zdarzenia wynosi 15 minut. Odmienność scenariuszy narażenia A, B i C polegała na różnicach w schemacie decyzyjnym sterowania procesem.



Ryc. 1. EASE — schemat decyzyjny, sterowanie procesem.  
Fig. 1. EASE — decision tree. Determination of control pattern.

W celu oszacowania narażenia według scenariusza A założono, że substancja jest używana w systemie zamkniętym, bezawaryjnym i w pełni zaizolowanym, według scenariusza B — ma miejsce użycie w wąskim zakresie stosowania, bez awarii i z miejscową wentylacją wywiewną, natomiast według scenariusza C — występuje szerokie stosowanie substancji, bezpośrednio przez pracownika, jako środek kontroli ryzyka stosowana jest wentylacja ogólna, natomiast nie dysponuje się miejscową wentylacją wywiewną, nie oczekuje się awaryjności systemu.

Do badania wytypowano 5 substancji: 1,4-dioksan, eter *tert*-metylowo-butyłowy, dietyloaminę, 1,1,1-trichloroetan i bisfenol A. Właściwości fizykochemiczne substancji uzyskano z bazy BREATH, tworzonej w ramach 6. Programu Ramowego Komisji Europejskiej pn. „Optimized Strategies for Risk Assessment of Industrial Chemicals through Integration of Non-Test and Test Information”. Cztery z testowanych substancji są w warunkach normalnych cieciami, natomiast jedna

(bisfenol A) jest ciałem stałym. Podczas pracy z programem konieczne było więc dokonanie wyboru techniki postępowania w przypadku narażenia na pył — wybrano opcję techniki niskopyłowej.

Szacowanie narażenia nie sprawiało trudności, gromadzenie i wprowadzanie danych wejściowych nie było czasochłonne. Uzyskane szacowania wielkości narażenia inhalacyjnego przedstawiono w tabeli 1. Narażenie na pary obliczono w ppm, natomiast w przypadku pyłu — w  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Im mniejszy zakres stosowanych środków kontroli ryzyka, tym wyższe wartości narażenia inhalacyjnego zostały skalkulowane przez program. Szczególnie wysokie stężenia, nawet do 1000 ppm, zostały obliczone dla scenariusza C, tj. gdy występuje narażenie przy braku miejscowej instalacji wywiewnej (LEV) oraz gdy czynności wykonywane przez pracowników polegają np. na natryskiwaniu substancji, malowaniu, rozpylaniu i nie ma możliwości kontrolowania narażenia. W przypadku stosowania substancji według scenariusza A — gdy system jest zamknięty,

**Tabela 1.** Wyniki szacowania wielkości narażenia inhalacyjnego pracowników dla 5 substancji za pomocą modułu EASE  
**Table 1.** Calculations of workers' inhalation exposure to five substances based on EASE

Substancja Substance	Scenariusz narażenia na substancje — schemat decyzyjny Exposure scenario — pattern of control		
	A	B	C
1,4-Dioksan / 1,4-Dioxane	0–0,1 ppm	10–20 ppm	200–300 ppm
Eter <i>tert</i> -metylowo-butylowy / Methyl- <i>tert</i> -butyl ether	0–0,1 ppm	100–200 ppm	500–1 000 ppm
Dietyloamina / Diethyl amine	0–0,1 ppm	20–50 ppm	300–500 ppm
1,1,1-Trichloroetan / 1,1,1-Trichloroethane	0–0,1 ppm	20–50 ppm	300–500 ppm
Bisfenol A / Bisphenol A*	0–0,1 ppm — pary / vapors	0–0,1 ppm — pary / vapors	0–0,1 ppm — pary / vapors
	0–5 mg/m <sup>3</sup> — pyły / dusts	0–1 mg/m <sup>3</sup> — pyły / dusts	0–5 mg/m <sup>3</sup> — pyły / dusts

\* Wybrano opcję techniki niskopyłowej / Option Low Dust Techniques has been chosen.

A — system zamknięty, bezawaryjny, w pełni zaizolowany / closed system, no breached, full containment.

B — użycie w wąskim zakresie stosowania, bez awarii, z miejscową wentylacją wywiewną / non-dispersive use, no breached, local exhaust ventilation.

C — szerokie stosowanie substancji, bez awarii, bezpośrednio przez pracownika, wentylacja ogólna / wide-dispersive use, no breached, direct handling and dilution ventilation.

bezawaryjny i zaizolowany — model przewiduje narażenie na pary w przedziale stężeń 0–0,1 ppm.

Po przetestowaniu badanego modelu następnym krokiem była jego walidacja, tj. jednoczesne wyznaczenie szacunkowego poziomu narażenia w oparciu o model pomiarowy i porównanie z danymi pomiarowymi uzyskanymi w miejscu pracy. Obliczenia przeprowadzono dla trzech rozpuszczalników organicznych: toluen, octan etylu i aceton. W celu oszacowania narażenia inhalacyjnego wybrano trzy typy scenariuszy narażenia, które dostosowano do opisu warunków pracy uzyskanych w miejscu dokonywania pomiarów. Dysponowano rezultatami pomiarów wybranych sub-

stancji w powietrzu środowiska pracy w następujących zakładach pracy (4):

- fabryka farb i lakierów, wydział syntezy, hala zlewu i filtracji,
- fabryka obuwia, manipulacja spodowa, szwalnia, montaż obuwia,
- rafineria.

Próbki powietrza pobierano za pomocą dozymetrów indywidualnych przez 7,5 godziny podczas 8-godzinnej zmiany roboczej. Wielkość zmierzonych stężeń w powietrzu środowiska pracy dla wytypowanych trzech rozpuszczalników organicznych przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Stężenia trzech wytypowanych rozpuszczalników organicznych w powietrzu środowiska pracy  
**Table 2.** Measured concentrations of chosen organic solvents in the workplace environment

Substancja Substance	Zmierzone stężenie substancji w powietrzu środowiska pracy Measured concentrations in workplace [mg/m <sup>3</sup> ]				
	fabryka farb i lakierów, wydział syntezy, hala zlewu i filtracji (15 stanowisk) paint and lacquer factory synthetic section filtration & decanting room (15 workplaces)	fabryka obuwia (manipulacja spodowa) (8 stanowisk) shoe factory (sole manipulation) (8 workplaces)	fabryka obuwia (szwalnia) (21 stanowisk) shoe factory (sewing section) (21 workplaces)	fabryka obuwia (montaż) (5 stanowisk) shoe factory (installation) (5 workplaces)	rafineria (nadzór, automatyk, aparaturowy, mechanik) (25 stanowisk) refinery (supervisor, metal-worker, mechanic) (25 workplaces)
Toluen / Toluene	0,2–2,3	31,9–117,4	82,9–235,0	43,9–69,9	0,1–0,4
Octan etylu / Ethyl acetate	1,0–37,0	29,5–45,2	70,6–348,0	364,0–458,0	–
Aceton / Acetone	0,0–0,8	58,2–85,7	52,8–142,5	782,3–1 230,0	–

Do oszacowania narażenia inhalacyjnego pracowników na toluen, octan etylu i aceton na stanowiskach pracy zaproponowano odpowiednie scenariusze narażenia. Na podstawie opisu stanowiska pracy, charakteru miejsca pracy, typu procesu, wykonywanego zadania i chronometrażu pracy zaproponowano następujące schematy sterowania procesem: w fabryce farb i lakierów oraz rafinerii — system zamknięty, bez awarii i z miejscową wentylacją wywiewną; w fabryce obuwia podczas manipulacji spodowej i w szwalni w schemacie sterowania procesem wybrano użycie w wąskim zakresie stosowania i z miejscową wentylacją wywiewną; w fabryce obuwia podczas montażu obuwia schemat sterowania procesem obejmował użycie w wąskim zakresie stosowania, bez miejscowej wentylacji wywiewnej, ale z wentylacją ogólną.

Do oszacowania narażenia przyjęto, że pracownik ma kontakt z substancją przez 7 godzin, 30 minut codziennie podczas 8-godzinnej zmiany roboczej.

## WYNIKI

Szacowania narażenia inhalacyjnego dla trzech badanych rozpuszczalników organicznych toluenu, octanu etylu i acetonu przeprowadzone za pomocą modelu EASE oraz dane dotyczące narażenia zawodo-

wego w powietrzu środowiska pracy uzyskane podczas pomiarów w środowisku pracy przedstawiono w tabeli 3.

Porównanie wielkości skalkulowanego narażenia dla toluenu, octanu etylu i acetonu z danymi pochodzącymi z pomiarów przeprowadzonych w środowisku pracy wykazało, że przewidywania modelu są zbliżone do wyników pomiarów. Jedynie w przypadku niskich zakresów stężeń wielkości stężeń zmierzonych są wyższe niż przewidywania EASE. Dla toluenu dane dotyczące narażenia są zbliżone do szacowanych w fabryce farb i lakierów, fabryce obuwia (manipulacja spodowa i szwalnia) oraz w rafinerii. Jedynie na stanowiskach pracy podczas montażu obuwia w Fabryce obuwia obliczone narażenie na toluen zawiera się w przedziale 383–536 mg/m<sup>3</sup> i jest ok. 10 razy wyższe od zmierzonego, które wynosi 43,9–69,9 mg/m<sup>3</sup>.

W przypadku octanu etylu i acetonu szacowane przedziały stężeń są porównywalne ze zmierzonymi. Trudno jest znaleźć wyjaśnienie tej różnicy. Należy jednak zauważyć, że toluen jest najmniej lotny spośród badanych rozpuszczalników. Prężność pary toluenu wynosi 37,8 hPa, podczas kiedy octan etylu posiada prężność pary 101,4 hPa, natomiast aceton prawie dziesięciokrotnie wyższą od toluenu, tj. ok. 240 hPa.

**Tabela 3.** Porównanie narażenia zawodowego dla toluenu, octanu etylu i acetonu oszacowanego za pomocą modułu EASE z danymi uzyskanymi podczas pomiarów przeprowadzonych w powietrzu środowiska pracy

**Table 3.** Comparison of EASE calculated inhalation worker exposure to toluene, ethyl acetate and acetone with occupational data

Substancja Substance	Środowisko pracy Workplace									
	fabryka farb i lakierów (wydział syntezy) paint and lacquer factory (synthetic section)		fabryka obuwia (manipulacja spodowa) shoe factory (sole manipulation)		fabryka obuwia (szwalnia) shoe factory (sewing section)		fabryka obuwia (montaż) shoe factory (installation)		rafineria refinery	
	1	2	3	4	5					
	narażenie oszacowane calculated exposure [mg/m <sup>3</sup> ]	narażenie zmierzone measured exposure [mg/m <sup>3</sup> ]	narażenie oszacowane calculated exposure [mg/m <sup>3</sup> ]	narażenie zmierzone measured exposure [mg/m <sup>3</sup> ]	narażenie oszacowane calculated exposure [mg/m <sup>3</sup> ]	narażenie zmierzone measured exposure [mg/m <sup>3</sup> ]	narażenie oszacowane calculated exposure [mg/m <sup>3</sup> ]	narażenie zmierzone measured exposure [mg/m <sup>3</sup> ]	narażenie oszacowane calculated exposure [mg/m <sup>3</sup> ]	narażenie zmierzone measured exposure [mg/m <sup>3</sup> ]
Toluen / Toluene	0–0,383	0,2–2,3	38,3–76,6	31,9–117,4	38,3–76,6	82,9–235,0	383–536	43,9–69,9	0–0,383	0,1–0,4
Octan etylu / / Ethyl acetate	0–0,366	1,0–37,0	36,6–73,3	29,5–45,2	36,6–73,3	70,6–348,0	366–513	364,0–458,0	–	–
Aceton / Acetone	0–0,242	0,0–0,8	48,3–121,0	58,2–85,7	48,3–121,0	52,8–142,5	725–1210	782,3–1 230,0	–	–

1 — system zamknięty, bezawaryjny, w pełni zaizolowany / closed system, no breached, full containment.

2 — użycie w wąskim zakresie stosowania, bez awarii, z miejscową wentylacją wywiewną / non-dispersive use, no breached, local exhaust ventilation.

3 — użycie w wąskim zakresie stosowania, bez awarii, z miejscową wentylacją wywiewną / non-dispersive use, no breached, local exhaust ventilation.

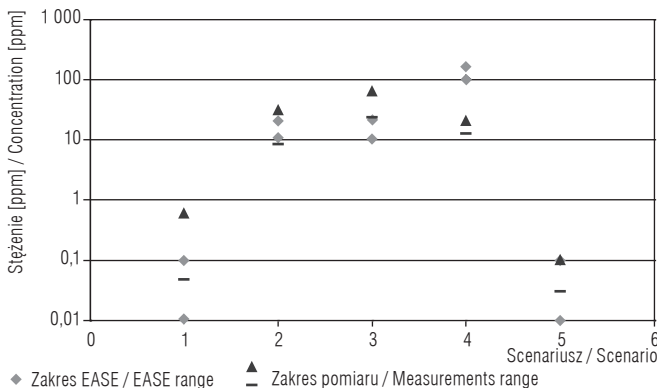
4 — użycie w wąskim zakresie stosowania, bez awarii, bezpośrednio przez pracownika, wentylacja ogólna / non-dispersive use, no breached, direct handling and dilution ventilation.

5 — system zamknięty, bezawaryjny, w pełni zaizolowany / closed system, no breached, full containment.

**WNIOSKI**

1. Uzyskane rezultaty sugerują, że moduł EASE może być stosowany do szacowania wielkości stężeń rozpuszczalników organicznych w powietrzu środowiska pracy. Na rycinach 2–4 przedstawiono graficznie porównanie danych pomiarowych z przewidywaniami EASE dla wybranych substancji: toluenu, octanu etylu i acetonu. Na osi odciętych zamieszczono numer scenariusza narażenia, który odpowiada opisowi z tabeli 3. Na osi rzędnych podano wielkości stężeń w ppm, w skali logarytmicznej. Należy podkreślić, że model szacuje wielkość narażenia w pewnym przedziale stężeń, wydaje się że rozpiętość przedziału jest dość duża. Nie jest jednoznaczne czy do interpretacji należy przyjąć górną czy dolną granicę stężeń w przedziale.
2. Model jest zawsze tylko karykaturą rzeczywistości. W sytuacji, gdy dostępne są dane pomiarowe proces szacowania wielkości narażenia powinien być oparty na faktycznych pomiarach, a nie na wartościach szacunkowych pochodzących z modeli. Dostępne dane na temat narażenia w miejscu pracy powinny odgrywać główną rolę w oszacowaniu ryzyka.

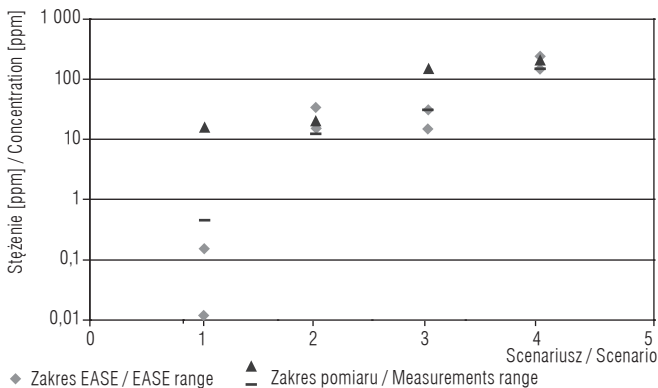
Narażenie inhalacyjne — EASE vs narażenie zamierzone / Inhalation Exposure — EASE vs. reality



- 1 — system zamknięty, bezawaryjny, w pełni zaizolowany / closed system, no breached, full containment.
- 2 — użycie w wąskim zakresie stosowania, bez awarii, z miejscową wentylacją wywiewną / non-dispersive use, no breached, local exhaust ventilation.
- 3 — użycie w wąskim zakresie stosowania, bez awarii, z miejscową wentylacją wywiewną / non-dispersive use, no breached, local exhaust ventilation.
- 4 — użycie w wąskim zakresie stosowania, bez awarii, bezpośrednio przez pracownika, wentylacja ogólna / non-dispersive use, no breached, direct handling and dilution ventilation.
- 5 — system zamknięty, bezawaryjny, w pełni zaizolowany / closed system, no breached, full containment.

**Ryc. 2.** Porównanie danych pomiarowych z przewidywaniami EASE dla toluenu.  
**Fig. 2.** Comparison of EASE predictions and measurement results for toluene.

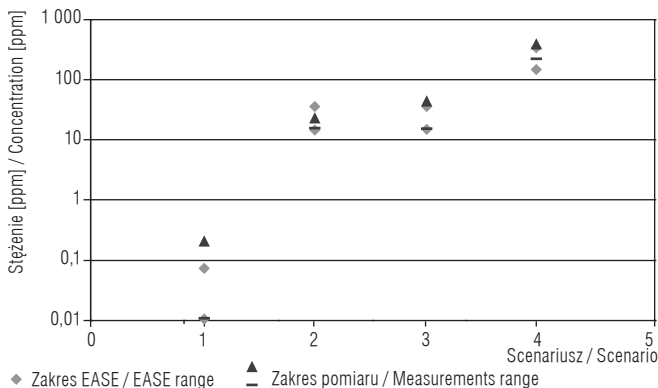
Narażenie inhalacyjne — EASE vs narażenie zamierzone / Inhalation Exposure — EASE vs. reality



Objaśnienia jak w ryc. 2 / Abbreviations as in Fig. 2.

**Ryc. 3.** Porównanie danych pomiarowych z przewidywaniami EASE dla octanu etylu.  
**Fig. 3.** Comparison of EASE predictions and measurement results for ethyl acetate.

Narażenie inhalacyjne — EASE vs narażenie zamierzone / Inhalation Exposure — EASE vs. reality



Objaśnienia jak w ryc. 2 / Abbreviations as in Fig. 2.

**Ryc. 4.** Porównanie danych pomiarowych z przewidywaniami EASE dla acetonu.  
**Fig. 4.** Comparison of EASE predictions and measurement results for acetone.

3. Należy podkreślić, że program EASE nie tylko pozwala na szacowanie narażenia inhalacyjnego pracowników, ale również daje szczególną możliwość oceny ryzyka związanego z zagrożeniem. Zastosowane rozwiązania graficzne pozwalają na szybkie zorientowanie się, gdy ryzyko nie jest właściwie kontrolowane, ponieważ program sygnalizuje przekroczenia innym kolorem właściwego pola. Możliwość charakterystyki ryzyka istnieje po wprowadzeniu dodatkowych parametrów wejściowych obejmujących reprezentatywne dla danej substancji właściwości toksyczne, np. najniższy poziom działania toksycznego, medialne dawki śmiertelne, pochodny poziom niepowodujący zmian itp.

4. W pracy zastosowano model EASE wyłącznie do oszacowania narażenia inhalacyjnego. Za pomocą tego modelu można również przewidzieć narażenie pracownika przez skórę, przy uwzględnieniu pewnych dodatkowych danych wejściowych obejmujących następujące informacje: częstotliwość narażenia pracownika przez skórę, które części ciała są narażone — w zależności od wybranego narzędzia program wylicza wielkość powierzchni kontaktu pomiędzy substancją a skórą, grubość warstwy produktu na skórze itd.

Po przeprowadzeniu obliczeń można stwierdzić że moduł EASE to przejrzysty, konsekwentny system, który może spełniać znaczącą rolę jako dodatkowy element procesu szacowania narażenia na substancje chemiczne w powietrzu środowiska pracy. Może to być także narzędzie dostarczające informacji o poziomie ryzyka zdrowotnego decydom, osobom zajmującym się bhp oraz użytkownikom danej technologii. Moduł EASE ułatwia podejmowanie decyzji inwestorom, może też służyć jako podstawa do określania potrzebnych działań eliminujących lub zmniejszających ryzyko zdrowotne w środowisku pracy. Jest zgodny z przepisami prawa obowiązującymi w UE i nie zajmuje dużo czasu.

Należy pamiętać jednak, że metodologia szacowania narażenia podlega stałemu rozwojowi. Celowe wydaje się więc w kolejnym etapie oszacowanie narażenia na ww. rozpuszczalniki organiczne przy użyciu modelu ECETOC-TRA (Targeted Risk Assessment) (5), który powstał w oparciu o nowy system deskryptorów dla zastosowań i jest już dostępny na stronie internetowej Europejskiego Centrum ds. Ekotoksykologii i Toksykologii Chemikaliów (European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals — ECETOC).

W praktyce okazało się niezbędne opracowanie zestawu szablonowych scenariuszy narażenia właściwych dla różnych rynków i produktów. Dla dalszych użytkowników praktyczne byłoby otrzymywanie znormalizowanych scenariuszy narażenia dla odpowiednich zastosowań substancji w ich sektorze, dlatego opracowano zarys systemu skróconych tytułów jako oznaczeń dla zakresów i zastosowań scenariuszy narażenia (6). W oparciu o skrócony tytuł dalszy użytkownik powinien być w stanie ustalić, czy otrzymany scenariusz narażenia może obejmować przewidziane przez niego zastosowania. Będzie miał także w ten sposób możliwość informowania dostawcy o swoim zastosowaniu

produktu. Ponadto deskryptory zostały zaplanowane w taki sposób, aby mogły być stosowane do identyfikacji odpowiedniego wpisu dotyczącego szacunkowego narażenia w jednym z dostępnych narzędzi szacowania narażenia, którym jest właśnie ECETOC-TRA.

Opis zastosowań opiera się na czterech elementach: sektorze zastosowań, kategorii produktu chemicznego, kategorii procesu i kategorii wyrobów. Szczególne znaczenie mają techniki zastosowania substancji lub rodzaju procesów, które mają bezpośredni wpływ na oczekiwane narażenie, a tym samym na środki kontroli ryzyka. Ten rodzaj opisu zastosowania będzie rozwijany w trakcie wdrażania systemu REACH, stąd wydaje się konieczna walidacja modelu szacowania narażenia pracowników opartego na tym systemie.

## PIŚMIENNICTWO

1. Rozporządzenie (WE) 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 roku w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów zwane popularnie REACH, 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 dyrektywy Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej seria L, nr 396 z 30 grudnia 2006 r.
2. Gromiec J.: Pomiary i ocena stężeń czynników chemicznych i pyłów w środowisku pracy. CIOP BIP, Warszawa 2004
3. Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.14: Occupational Exposure Estimation. European Chemical Agency, Helsinki 2008
4. Sprawozdanie nr ZCS/21.1/2006 z realizacji zlecenia wewnętrznego nr 2/06 do tematu IMP 4.11. „Praktyczna weryfikacja przydatności prowadzenia monitoringu biologicznego oceny narażenia na lotne związki organiczne (VOC) na podstawie oznaczeń form niezmiennych w moczu”. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2006
5. Targeted Risk Assessment. Technical Report No. 93. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals, Bruksela 2004
6. Wskazówki dotyczące wymagań w zakresie informacji oraz oceny bezpieczeństwa chemicznego. Rozdział R.12: System deskryptorów dla zastosowań. (Wersja 1.2). European Chemical Agency, Helsinki 2008