

SZACOWANIE NARAŻENIA KONSUMENTÓW NA CZYNNIKI CHEMICZNE NA PRZYKŁADZIE MODELU CONSEXPO

ASSESSMENT OF CONSUMER EXPOSURE TO CHEMICAL AGENTS
ON THE EXAMPLE OF THE CONSEXPO MODEL

Agnieszka Niepsuj, Sławomir Czerczak

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

STRESZCZENIE

Na substancje chemiczne narażeni są nie tylko pracownicy zakładów w szeroko pojętym przemyśle, ale również konsumenci korzystający z gotowych produktów. Dlatego oprócz oceny narażenia pracowników równie ważne jest szacowanie narażenia konsumentów: potrzebne są do tego wielkości narażenia, których zmierzenie w warunkach domowych konsumentów najczęściej nie jest możliwe. Aplikację ConsExpo Web (w artykule dla ułatwienia zwaną ConsExpo) zaprojektowano, by ułatwić szacowanie narażenia na substancje zawarte w produktach konsumenckich. Dostępna jest ona nieodpłatnie w języku angielskim pod adresem www.consexpweb.nl. Narzędzie ConsExpo, opracowane przez Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego i Środowiska w Holandii (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu), zawiera zestaw modeli pomocnych w ocenie narażenia na substancje w produktach konsumenckich. Są to modele matematyczne, opisujące narażenie drogą inhalacyjną, dermalną i pokarmową. ConsExpo umożliwia – dla tych dróg narażenia – korzystanie z modeli o rosnącej złożoności: od pierwszego rzędu do bardziej szczegółowych, które opisano w tej pracy. Aplikacja zawiera również bazę danych o produktach, dla których zdefiniowano scenariusze narażenia, posiadającą zestaw wartości domyślnych używanych jako parametry wejściowe modeli. Celem pracy było dokonanie przeglądu piśmiennictwa dotyczącego ConsExpo oraz przybliżenie aplikacji polskiemu użytkownikowi poprzez opisy zawartych w niej modeli i zamieszczenie przykładowych szacowań. Przeglądu dokonano na podstawie baz czasopism naukowych. ConsExpo jest narzędziem powszechnie znanym, a jednym z jego zastosowań jest szacowanie narażenia na produkty konsumenckie w badaniach porównawczych i przy opracowywaniu nowych modeli do szacowania narażenia. Przez mniej zaawansowanych użytkowników może być z powodzeniem używana do analiz niższego szczebla i w połączeniu z bazami danych ConsExpo. Najkorzystniejsze dla polskich użytkowników byłoby utworzenie polskojęzycznej wersji aplikacji ConsExpo lub instrukcji użytkownika w języku polskim. Med. Pr. 2019;70(6):747–762

Słowa kluczowe: narażenie, model, konsumenci, szacowanie, ConsExpo, produkt konsumencki

ABSTRACT

Not only employees in industrial plants but also consumers, by using finished products, are exposed to chemical substances. Therefore, consumer exposure assessment is also important. To assess the risk for the consumer, the exposure magnitude is needed but measuring these values in residential conditions of consumers is usually impossible. ConsExpo has been designed to facilitate the exposure assessment to substances in consumer products. It is available in English as a free web application at www.consexpweb.nl. The ConsExpo Web tool, developed by the Netherlands National Institute for Public Health and the Environment (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu), contains a set of models that help in the assessment of exposure to the substances in consumer products. These are mathematical models with increasing complexity, describing exposure by inhalation, dermal and oral routes. Available models are described in this work. ConsExpo is also equipped with a products database with defined exposure scenarios and default values, which could be a starting point for the models. The aim of this work was to review the literature regarding ConsExpo and to present the application to Polish users through the description of the models contained therein and by providing assessments examples. The review was based on databases of scientific journals. ConsExpo is a commonly known tool, and one of its applications is exposure estimation in comparative studies and the development of new models. For lower-tier analyses ConsExpo can be used by less advanced users. The most favorable for Polish users would be the creation of the Polish-language version of the ConsExpo application or a detailed Polish-language instruction manual. Med Pr. 2019;70(6):747–62

Key words: exposure, model, consumers, assessment, ConsExpo, consumer product

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Agnieszka Niepsuj, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Zakład Bezpieczeństwa Chemicznego, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: agnieszka.niepsuj@imp.lodz.pl
Nadesłano: 8 marca 2019, zatwierdzono: 31 maja 2019

WSTĘP

Na substancje chemiczne narażeni są nie tylko pracownicy zakładów w szeroko pojętym przemyśle, ale również konsumenci użytkujący gotowe produkty. Dlatego ważne jest szacowanie narażenia wśród zarówno pracowników przemysłu, jak i konsumentów. Konsument to członek społeczeństwa w dowolnym wieku, dowolnej płci i w różnym stanie zdrowia. Produkt konsumencki to substancja, mieszanina lub wyrób, który można nabyć w punktach sprzedaży detalicznej.

Zgodnie z art. 14 ust. 4 rozporządzenia w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals – REACH) [1] należy przeprowadzić ocenę narażenia i sporządzić charakterystyki ryzyka dla substancji podlegających rejestracji, które są produkowane lub importowane w ilości co najmniej 10 t rocznie na 1 rejestrującego oraz gdy substancja spełnia kryteria dla jakiegokolwiek z klas zagrożenia lub kategorii wskazanych w art. 14 ust. 4 bądź została oceniona jako należąca do kategorii substancji trwałych, zdolnych do bioakumulacji i toksycznych (*persistent, bioaccumulative and toxic* – PBT) albo bardzo trwałych i o silnych właściwościach bioakumulacyjnych (*very persistent, very bioaccumulative* – vPvB). W przypadku oceny narażenia konsumentów na podstawie REACH adresatem scenariuszy narażenia jest formulator mieszaniny lub wytwórca wyrobu sprzedawanego konsumentom (art. 37, ust. 2) [1]. Producent/Importer substancji będących składnikami mieszanin lub znajdujących się w wyrobach sprzedawanych detalicznie powinien zapewnić, że wykonano ocenę ryzyka dla zdrowia konsumentów i zapewniono im bezpieczeństwo.

Oszacowanie narażenia powinno skutkować opracowaniem strategii kontroli narażenia bazującej w głównej mierze na sposobie zaprojektowania samego produktu i jego opakowania (np. ograniczanie stężenia, opakowanie uniemożliwiające dozowanie zbyt dużej porcji produktu, zwiększona lepkość produktu przeciwdziałająca jego rozpryskiwaniu się). Konieczność taka wynika z tego, że szacowana liczba konsumentów postępujących zgodnie z instrukcją użytkowania danego produktu (w tym prawidłowo stosująca środki ochrony indywidualnej) jest stosunkowo niewielka. Dlatego dostępne w przypadku produktów konsumenckich środki kontroli są bardzo ograniczone – nie można ich zwykle monitorować ani egzekwować poza punktem sprzedaży produktów – przez

co nie wystarczają do kontroli narażenia konsumentów [2].

Oszacowanie narażenia konsumentów powinno odnosić się do zamierzonych zastosowań produktów zawierających dane substancje i obejmować rozsądnie przewidywalne sposoby i warunki użycia. Samo narażenie, czyli ilość danej substancji, na jaką narażeni będą poszczególni konsumenci w domowych warunkach, z oczywistych powodów nie jest możliwe do zmierzenia. Natomiast do oszacowania narażenia konsumentów potrzebne są wielkości parametrów mających na nie wpływ – wielkości te, w warunkach domowych konsumentów, również nie są możliwe do określenia. Dodatkowych trudności w szacowaniu dostarczają też zmienność w zachowaniach konsumentów (np. używanie produktu w większych ilościach i z większą częstotliwością niż rekomendowana przez producenta, pozostawianie otwartych opakowań, użycie produktu do zastosowań innych niż przewidziane itp.) i bardzo duża liczba rodzajów produktów konsumenckich mających rozmaite składy.

Celem pracy było przedstawienie polskiemu użytkownikowi aplikacji ConsExpo Web jako użytecznego narzędzia do szacowania narażenia na substancje chemiczne zawarte w produktach konsumenckich oraz przybliżenie im jej działania i obsługi.

METODY PRZEGLĄDU

Przeglądu piśmiennictwa dokonano na podstawie materiałów [3] zamieszczonych na stronie internetowej twórców ConsExpo – Narodowego Instytutu Zdrowia Publicznego i Środowiska w Holandii (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu – RIVM) [4] oraz w internetowych bazach czasopism naukowych – EBSCO, Web of Science i PubMed. Wyszukiwane w bazach słowa kluczowe to: „ConsExpo”, „consumer” oraz „exposure”. Wytyczne Europejskiej Agencji Chemikaliów do szacowania narażenia konsumentów [2] znaleziono przy użyciu popularnej wyszukiwarki internetowej po wpisaniu frazy „consumer exposure assessment”.

WYNIKI PRZEGLĄDU

Niniejszy przegląd podzielono na rozdziały zawierające opis narzędzia ConsExpo i modeli w nim zawartych na podstawie raportu z dokumentacją modeli opublikowanego przez RIVM [3], opisy zastosowań wskazywane przez autorów innych publikacji oraz przykładowe szacowania przy użyciu aplikacji.

ConsExpo Web – charakterystyka [3]

ConsExpo to narzędzie mające ułatwić szacowanie narażenia konsumentów poprzez dostarczenie modeli oraz danych wejściowych do szacowania. Początkowo ConsExpo zostało opracowane jako samodzielny program komputerowy na wniosek Holenderskiego Urzędu do spraw Bezpieczeństwa Żywności i Produktów Konsumenckich (Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit – NVWA) przez RIVM we współpracy instytucjami z Francji, Niemiec i Szwajcarii zajmującymi się podobną tematyką badawczą. Od 2016 r. [4] ConsExpo Web jest aplikacją internetową dostępną bezpłatnie po utworzeniu konta i zalogowaniu się na stronie internetowej [5]. Aplikacja działa w języku angielskim.

Narzędzie ConsExpo zawiera szereg powszechnie stosowanych modeli matematycznych opisujących narażenie drogą inhalacyjną, dermalną i pokarmową. Dla wszystkich tych dróg narażenia ConsExpo dostarcza modeli o rosnącej złożoności, co umożliwia wielopoziomowe podejście do szacowania narażenia – od prostego modelu pierwszego szczebla, służącego do oszacowania maksymalnego narażenia, do bardziej szczegółowych i zaawansowanych, gdy wymagane jest dokładniejsze szacowanie. Im wyższy szczebel danego modelu szacowania, tym więcej danych wejściowych potrzebuje. Proste modele wymagają podania jedynie kilku ogólnych informacji; modele zaawansowane potrzebują danych specyficznych, często trudnych w uzyskaniu. Aby choć częściowo rozwiązać ten problem, twórcy wyposażyli ConsExpo w bazę danych domyślnych produktów, dla których zdefiniowano scenariusze narażenia i która zawiera zestaw wartości opracowanych na podstawie danych eksperymentalnych, stanowiących parametry wejściowe modeli. Baza danych może posłużyć za punkt wyjścia do szacowania narażenia nawet wyższego szczebla. Uzasadnienia dla wartości domyślnych znajdują się w arkuszach informacyjnych (*fact sheets*) dla określonych kategorii produktów. Kategorie te, dla których stworzono arkusze informacyjne, to: środki czyszczące, kosmetyki, środki dezynfekujące, produkty „zrób to sam” (np. kleje, powłoki, środki uszczelniające), produkty malarskie oraz środki owadobójcze i odstraszające owady. Najnowsze wersje arkuszy informacyjnych dostępne są na stronie internetowej twórców ConsExpo [4]. ConsExpo generuje wyniki szacowania narażenia w różnej postaci. W zależności od drogi narażenia, aplikacja wylicza stężenie w powietrzu oraz dawki zewnętrzne i wewnętrzne. Generowane wyniki są również uśredniane względem czasu i dzięki temu można oszacować wielkość narażenia w trakcie zdarzenia (na-

rażenie chwilowe, jednorazowe), w dniu, w którym doszło do narażenia, oraz średnie roczne narażenie (średnie stężenie w powietrzu lub dawka), niezależnie od czasu trwania i częstotliwości narażenia. Aplikacja tworzy wykresy różnych miar narażenia od czasu. W jednym szacowaniu można zawrzeć kilka scenariuszy.

Modele matematyczne zawarte w ConsExpo podzielono według 3 dróg narażenia. Dla każdej dostępne są określone modele opisujące daną sytuację narażenia. Niektóre posiadają jeszcze submodele (tryby), które można wybrać w zależności od dostępności danych o rozpatrywanym narażeniu. Tryby różnią się sposobem obliczania stężenia substancji, stopniem skomplikowania i parametrami. Niektóre z nich należą już do modeli wyższego szczebla. Dostępne w programie modele i tryby zebrano w tabeli 1.

Opisy modeli [3]

Droga inhalacyjna

Substancje mogące wnikać do organizmu człowieka drogą oddechową są często obecne w produktach. Przykładem może być sprej zawierający lotną substancję, która po rozpyleniu będzie obecna w powietrzu i w następstwie wdychania przez osoby znajdujące się w pobliżu może przedostać się do ustroju poprzez płuca. W ConsExpo dostępne są 3 modele narażenia drogą inhalacyjną: „Narażenie na parę”, „Narażenie na rozpylanie” oraz „Emisja z materiałów stałych”.

Model „Narażenie na parę”

Model ten opisuje sytuację, w której substancja odparowuje z ciekłego produktu do powietrza w pomieszczeniu. Przykładem może być parowanie z otwartej puszkę z farbą lub ze świeżo pomalowanej ściany. Rozpatrywana substancja może stanowić 100% produktu lub być częścią mieszaniny.

Stężenie substancji w powietrzu w pomieszczeniu zależy od ilości substancji, rozmiarów pomieszczenia, wentylacji, prężności par substancji oraz szybkości, z jaką substancja jest uwalniana do powietrza.

Ogólne parametry wykorzystywane w modelu „Narażenie na parę” to:

- czas trwania narażenia – całkowity czas przebywania osoby w pomieszczeniu, w którym uwolniono substancję;
- ilość produktu – ilość produktu użyta jednorazowo;
- udział wagowy substancji – ułamek lub procent, jaki rozpatrywana substancja stanowi w produkcie;
- objętość pomieszczenia – objętość pomieszczenia, w którym następuje narażenie;

Tabela 1. Modele i tryby szacowania narażenia dostępne w programie ConsExpo [3]
Table 1. Models and modes of exposure assessment available in ConsExpo [3]

Droga narażenia Route of exposure	Model	Submodele (tryby) Sub-models (modes)	
Inhalacyjna / Inhalation	narażenie na parę / exposure to vapour	natychmiastowe uwolnienie / instant release uwalnianie ze stałą szybkością / constant rate odparowanie / evaporation	
	narażenie na aerozol / exposure to spray	natychmiastowe uwolnienie / instant release rozpylanie / spraying	
	emisja z materiałów stałych / emission from solid materials	–	
Dermalna / Dermal	bezpośredni kontakt z produktem / direct product contact	natychmiastowa aplikacja / instant application stała szybkość uwalniania / constant rate ścieranie / rubbing off migracja / migration dyfuzja / diffusion	
	Pokarmowa / Oral	bezpośredni kontakt z produktem / direct product contact	bezpośrednie spożycie / direct oral intake spożycie ze stałą szybkością / constant rate migracja / migration
		migracja z materiału opakowaniowego / migration from packaging material	–

■ szybkość wentylacji – liczba całkowitych wymian powietrza w pomieszczeniu na jednostkę czasu (np. jeśli czas potrzebny na wymianę całego powietrza w pomieszczeniu wynosi 20 min, szybkość wentylacji wyniesie 3 razy/godz.).

W zależności od dostępnych informacji na temat sposobu używania produktu w programie można wybrać 1 z 3 trybów uwalniania: „Natychmiastowe uwolnienie”, „Uwalnianie ze stałą szybkością” i „Odparowanie”.

Tryb „Natychmiastowego uwolnienia” jest prostym modelem i może służyć do szacowania pierwszego szczebla, gdyż często zwraca wartości względnie wysokie. Jego scenariusz zakłada natychmiastowe i jednorazowe uwolnienie substancji do pomieszczenia i następnie usuwanie jej za pośrednictwem wentylacji.

Tryb „Uwalniania ze stałą szybkością” opisuje uwalnianie substancji ze stałą szybkością w pewnym czasie. Dlatego ten submodel wymaga podania dodatkowego parametru, czyli czasu trwania emisji. Może być używany, gdy nieznane są dane na temat właściwości związanych z parowaniem substancji, ale możliwe jest oszacowanie czasu, w którym substancja odparuje.

Tryb „Odparowania” opisuje uwolnienie substancji z powierzchni produktu, uwzględniając fizyczne pod-

stawy procesu parowania. Dodatkowymi parametrami tego trybu są:

- powierzchnia uwalniania – całkowita powierzchnia, na którą produkt został zastosowany; ten parametr można zróżnicować również na powierzchnię o stałej wielkości, niezmienną w czasie uwalniania, jak np. powierzchnia cieczy w otwartym pojemniku, w którym znajduje się produkt, oraz wielkość powierzchni rosnącą w czasie, np. gdy podczas malowania ściany wielkość powierzchni pokrytej farbą, z której uwalnia się substancja, rośnie wraz z czasem malowania;
- czas stosowania – czas, w którym produkt jest stosowany;
- temperatura;
- masa cząsteczkowa i prężność pary – właściwości fizykochemiczne rozpatrywanej substancji;
- współczynnik przenikania masy – szybkość, z jaką substancja jest przenoszona między produktem a powietrzem; domyślna wartość tego współczynnika w ConsExpo to 10 m/godz. i może być użyta, gdy specyficzne właściwości substancji oraz warunki panujące w otoczeniu nie są znane; ConsExpo umożliwi również automatyczne oszacowanie tego współczynnika 2 metodami: Langmuira i Thibo-

deaux, co może jednak prowadzić do zawyżonych wartości wyjściowych szacowania.

Ilość uwolnionej substancji jest ograniczona przez ciśnienie pary nasyconej substancji, stężenie wówczas będzie zależało od prężności par, masy cząsteczkowej i temperatury podczas aplikacji. Temperatura może dotyczyć otoczenia, ale czasem również wartości, w których stosuje się substancję (np. temperatura rozpuszczalnika), i może ona być inna niż temperatura pokojowa. Dlatego należy zwracać uwagę na to, aby podana prężność par była odpowiednia dla temperatury, w której faktycznie używa się substancji.

Model „Narażenie na aerozol”

Model ten opisuje narażenie inhalacyjne na powoli odparowujące lub nietlne substancje w kropelkach lub cząstkach uwalniane przez rozpylanie. Dla substancji lotnych, nawet uwalnianych przez rozpylanie, bardziej odpowiedni jest model „Narażenie na parę”. Model „Narażenie na aerozol” może być również używany w przypadku produktów powodujących narażenie inhalacyjne na substancje stałe zawieszane w powietrzu, takie jak proszki lub pyły. Ten model posiada 2 tryby uwalniania rozróżniające rozkład przestrzenny rozpylonej substancji. Pierwszy tryb, prostszy – „Natychniastowe uwolnienie” – zakłada, że substancja natychmiast po rozpyleniu zostaje homogenicznie rozproszona w całym powietrzu pomieszczenia, a usuwana jest tylko poprzez wentylację. Natomiast tryb „Rozpylanie” został opracowany na podstawie eksperymentu i uwzględnia rozkład cząstek aerozolu (to, że stężenie nie jest homogeniczne w całym pomieszczeniu, bo sprej uwalnia się w postaci chmury), a następnie usuwanie ich z powietrza w pomieszczeniu przez ich osiadanie i wentylację. Model „Rozpylanie” wymaga również dodatkowych parametrów do szacowania:

- czas trwania rozpylania – czas netto rozpylania, nieuwzględniający przerw między rozpyleniami;
- wysokość pomieszczenia;
- szybkość generowania masy – ilość substancji uwolniona w jednostce czasu;
- rozkład średnicy cząstek (kropelki) aerozolu;
- frakcja produktu rozproszona w powietrzu – nietlona część produktu, która po rozpyleniu tworzy kropelki unoszące się w powietrzu – ten parametr zależy też od kierunku użycia spreju – rozpylanie na powierzchnię czy w powietrze;
- gęstość nietlonych substancji zawartych w produkcie;
- średnica graniczna cząstek aerozolu – cząstki o tej średnicy (ok. 10–15 μm) i mniejsze mogą przedostać

się do dolnych obszarów płuc, cząstki mające średnicę większą zostaną usunięte z górnych dróg oddechowych i przez przewód pokarmowy doprowadzą do narażenia drogą pokarmową, które można lub nie uwzględnić w obliczeniach, gdyż program umożliwia taką opcję.

ConsExpo ma również opcję „Rozpylanie w kierunku osoby” – po jej wybraniu program uwzględnia sytuację, gdy osoba narażona znajduje się w chmurze rozpylanego produktu. Wówczas można określić jeszcze 1 parametr – początkową objętość chmury, czyli objętość chmury po 1 s od rozpylenia. Opcja ta jest szczególnie przydatna, gdy rozpatrywanym produktem jest lakier do włosów lub dezodorant.

Model „Emisja z materiałów stałych”

Poziom stężenia substancji w powietrzu w wyniku emisji ze stałego materiału jest zależny od kilku procesów. Substancja jest emitowana do powietrza i zależy to od jej dyfuzji w materiale stałym do jego powierzchni i następnie przeniesieniu masy tej substancji z powierzchni materiału do powietrza. Jest również usuwana z powietrza poprzez wentylację, degradację i sorpcję przez powierzchnie w pomieszczeniu. Model emisji z materiałów stałych w ConsExpo opisuje uproszczoną sytuację, gdy zachodzi dyfuzja substancji w materiale i przeniesienie jej w masę powietrza, ale osiadanie substancji na powierzchniach i inne jej zanikanie poza wentylacją jest pomijane. W konsekwencji stężenie substancji w powietrzu jest często przeszacowane względem rzeczywistego stężenia, zwłaszcza dla substancji mniej lotnych, które w znacznym stopniu mogą być usuwane z powietrza w inny sposób niż tylko przez wentylację.

Wymagane parametry w modelu „Emisji z materiałów stałych” to:

- powierzchnia produktu;
- grubość produktu;
- gęstość produktu;
- współczynnik dyfuzji substancji w materiale;
- udział wagowy substancji – ułamek lub procent, jaki rozpatrywana substancja stanowi w produkcie;
- współczynnik podziału produkt/powietrze – współczynnik ten opisuje powinowactwo substancji do materiału; współczynnik podziału ($P_{a,b}$) to stosunek stężeń substancji w ośrodku a i w ośrodku b w stanie równowagi;
- współczynnik przenikania masy – szybkość, z jaką substancja jest przenoszona między produktem a powietrzem; domyślna wartość tego współczynnika w ConsExpo wynosi 10 m/godz. – wartość ta

została wybrana przez twórców ConsExpo na podstawie szacowania przy użyciu kilku różnych metod i modeli;

- szybkość wentylacji – szybkość wymiany powietrza w pomieszczeniu;
- szybkość inhalacji – objętość powietrza wdychana przez narażoną osobę w jednostce czasu;
- całkowity czas emisji – całkowity czas trwania emisji substancji;
- start narażenia – czas po rozpoczęciu emisji, po którym rozpoczyna się ekspozycja (z definicji 0, gdy narażenie następuje od razu po emisji);
- czas narażenia – czas, przez który osoba przebywa w pomieszczeniu, w którym nastąpiła emisja.

Droga dermalna

Model narażenia dermalnego w ConsExpo stosuje się dla substancji mających kontakt ze skórą podczas lub po użyciu produktu. Kontakt skóry z produktem konsumenckim zachodzi wówczas, gdy np. jest nakładany bezpośrednio na skórę bądź gdy skóra jest zanurzona w wodzie z rozpuszczonym w niej produktem. W ConsExpo został wprowadzony 1 model narażenia dermalnego – „Bezpośredni kontakt z produktem”.

Model „Bezpośredni kontakt z produktem” – droga dermalna

Model ten zawiera 5 trybów opisujących w różny sposób sytuację, w której produkt wchodzi w bezpośredni kontakt ze skórą. Dostępne tryby to: „Natychmiastowa aplikacja”, „Stała szybkość uwalniania”, „Ścieranie”, „Migracja” i „Dyfuzja”.

Dla modelu „Bezpośredniego kontaktu z produktem” podstawowym parametrem wejściowym jest narażona powierzchnia – jest to powierzchnia skóry ekspozycyjna na produkt.

Tryb „Natychmiastowej aplikacji” zakłada, że cała ilość substancji zawarta w produkcie nałożonym na skórę znajduje się z nią w bezpośrednim kontakcie. Ten prosty tryb pierwszego szczebla jest pomocny do rozpatrywania tzw. najgorszego przypadku oraz jeśli nie są znane dokładne dane o sposobie, w jaki skóra jest narażona na substancję. Model prosto przelicza narażenie jako ilość substancji na powierzchnię skóry lub na kilogram masy ciała (kg mc.) (dawka zewnętrzna). Podstawowymi parametrami tego trybu są:

- udział wagowy substancji – ułamek lub procent, jaki rozpatrywana substancja stanowi w produkcie,
- ilość produktu – całkowita ilość produktu nałożona na skórę.

Tryb „Stalej szybkości uwalniania” również zakłada, że cała ilość substancji zawartej w nałożonym na skórę produkcie znajduje się w kontakcie z nią, ale uwzględnia też czas narażenia. Stąd dodatkowym parametrem, który może być wprowadzony do modelu, jest czas. Tryb ten jest odpowiedni, jeśli znany lub możliwy do oszacowania jest czas, w którym substancja ma pozostawać w kontakcie ze skórą.

Dla trybu „Stalej szybkości uwalniania” potrzebne są następujące dodatkowe parametry:

- tempo nakładania – szybkość, z jaką produkt jest nakładany na skórę, wyrażana jako objętość w jednostce czasu;
- czas trwania uwalniania – czas, przez który substancja pozostaje na skórze.

Tryb „Ścierania” dotyczy ekspozycji wtórnej. Opisuje sytuację, w której jakaś powierzchnia (np. blat stołu) jest potraktowana produktem, a narażenie dermalne jest wynikiem kontaktu skóry z tą powierzchnią.

Parametry tego trybu to:

- współczynnik przenoszenia – powierzchnia poddana działaniu produktu będąca w kontakcie ze skórą na jednostkę czasu;
- ilość usuwalna – ilość produktu nałożona na powierzchnię, która może być starta, na jednostkę powierzchni; przykład: kiedy 100 mg proszku nałożono na 20 cm² powierzchni dywanu, a cała ta powierzchnia była dostępna i 20% proszku starło się podczas pocierania dywanu, to starto 20 mg produktu – ilość usuwalna w tym przykładzie to 1 mg/cm²;
- czas kontaktu – czas, podczas którego powierzchnia jest ścierana;
- ścierana powierzchnia – część powierzchni poddanej działaniu produktu, która jest ścierana; w niektórych przypadkach powierzchnia ścierana może być mniejsza niż powierzchnia potraktowana produktem, np. gdy część potraktowanej powierzchni jest niedostępna;
- udział wagowy substancji – ułamek lub procent, jaki rozpatrywana substancja stanowi w produkcie.

Tryb „Migracji” opisuje migrację substancji z materiału do skóry podczas ich kontaktu. Tego trybu można użyć np. w przypadku narażenia na barwniki w tekstyliach mających kontakt ze skórą, gdy barwnik wymywa się na skórę.

Wartości wejściowe stanowią następujące parametry:

- frakcja wymywalna – ilość substancji, która migruje na skórę, na jednostkę ilości materiału;
- ilość produktu – ilość materiału w bezpośrednim kontakcie ze skórą;

- współczynnik kontaktu – współczynnik, który może być użyty w celu uwzględnienia faktu, że materiał jest tylko częściowo w kontakcie ze skórą.

Tryb „Dyfuzji” opisuje bezpośrednie nałożenie produktu na skórę, po którym następuje dyfuzja substancji z produktu do skóry. Trybu „Dyfuzji” można użyć, gdy współczynnik dyfuzji substancji w produkcie jest znany lub może być oszacowany.

Tryb ten wymaga wprowadzenia wartości dla następujących parametrów:

- stężenie substancji – stężenie substancji w produkcie,
- współczynnik dyfuzji – szybkość, z jaką substancja dyfunduje w produkcie,
- grubość warstwy – grubość warstwy produktu nałożonej na skórę,
- czas narażenia – czas, w jakim produkt kontaktuje się ze skórą.

Dla szacowania narażenia dermalnego za pomocą wszystkich poszczególnych trybów ConsExpo posiada 2 modele absorpcji dermalnej: model „Stałej frakcji” i „Dyfuzji przez skórę”. W prostym modelu „Stałej frakcji” jedynym wymaganym parametrem jest frakcja absorbowana. Jego wartość może być otrzymana doświadczalnie lub oszacowana. Dla szacowania maksymalnego narażenia wartość tego parametru ustala się jako 1, zakładając, że cała ilość substancji jest pochłaniana z produktu przez skórę. Gdy rozpatrywana substancja będąca w kontakcie ze skórą znajduje się w wodnym roztworze, można użyć modelu absorpcyjnego „Dyfuzji przez skórę”. Można go jednak zastosować tylko w przypadku szacowania narażenia przy użyciu trybów „Natychmiastowej aplikacji” lub „Dyfuzji”. Dodatkowymi parametrami tego modelu są:

- stężenie – stężenie substancji w produkcie,
- przepuszczalność skóry – przepuszczalność skóry dla substancji,
- czas kontaktu – czas kontaktu produktu ze skórą.

Droga pokarmowa

ConsExpo umożliwia skorzystanie z 2 modeli szacowania narażenia drogą pokarmową: „Bezpośredni kontakt z produktem” i „Migracja z materiału opakowaniowego”. Narażenie jest liczone z frakcji wchłoniętej (czyli części przyjętej substancji, jaka przedostanie się do krwi ze światła jelita) zdefiniowanej przez użytkownika i podawane jako ilość potencjalnie przyjęta na kilogram masy ciała i rzeczywista dawka (ilość wchłonięta na kg mc.).

Model „Bezpośredni kontakt z produktem” – droga pokarmowa

Tryby opisujące narażenie poprzez bezpośredni kontakt z produktem zawierającym rozpatrywaną substancję, dostępne w tym modelu, to „Bezpośrednie spożycie”, „Spożycie ze stałą szybkością” i „Migracja” substancji z produktu do śliny podczas gryzienia produktu.

Tryb „Bezpośredniego spożycia” opisuje narażenie na substancję z produktu przyjętego doustnie jednokrotnie w całości. Można go użyć do szacowania najgorszego przypadku i gdy dokładne dane na temat narażenia nie są znane. Parametry wejściowe to:

- udział wagowy substancji – ułamek lub procent, jaki rozpatrywana substancja stanowi w produkcie,
- połknięta ilość – całkowita ilość połkniętego produktu.

Tryb „Spożycia ze stałą szybkością” pozwala szacować narażenie w sytuacji, gdy narażenie na substancję występuje w pewnym okresie. Może być on używany do szacowania np. narażenia wtórnego w wyniku kontaktu substancji ze skórą dłoni i następnie kontaktu dłoni z ustami. Parametry wejściowe tego trybu to:

- udział wagowy substancji – ułamek lub procent, jaki rozpatrywana substancja stanowi w produkcie,
- szybkość spożywania – całkowita ilość produktu spożyta w jednostce czasu,
- czas narażenia – czas, w którym produkt jest spożywany.

Tryb „Migracji” opisuje scenariusz, w którym narażenie drogą pokarmową zachodzi wskutek wymywania substancji z produktu przez ślinę. Parametry używane w tym trybie to:

- czas narażenia – czas, w którym produkt jest gryziony,
- ilość produktu – całkowita ilość produktu w jamie ustnej,
- udział wagowy substancji – ułamek lub procent, jaki rozpatrywana substancja stanowi w produkcie,
- powierzchnia kontaktu – powierzchnia produktu znajdującego się w jamie ustnej,
- początkowa prędkość migracji – ilość substancji migrującej z produktu w jednostce czasu.

Model „Migracja z materiału opakowaniowego”

Ten model narażenia liczy narażenie na substancje pochodzące z materiałów opakowaniowych poprzez zapakowaną w nie żywność.

Migracja substancji do żywności jest zależna od stężenia substancji w materiale opakowaniowym, powierzchni kontaktu między opakowaniem a żywnością

i szybkości migracji. Szacowane narażenie drogą pokarmową jest proporcjonalne do ilości spożytej pakowanej żywności, gdyż w tym przypadku zakłada się, że migrująca substancja jest homogenicznie rozmieszczona w żywności. Parametry wymagane do przeprowadzenia szacowania przy użyciu tego modelu to:

- stężenie substancji – stężenie substancji w materiale opakowaniowym,
- grubość opakowania – grubość materiału opakowaniowego,
- powierzchnia kontaktu – powierzchnia kontaktu między materiałem opakowaniowym a żywnością,
- zapakowana ilość – ilość żywności zapakowana w opakowanie,
- spożyta ilość – ilość spożytej żywności.

Jeśli nie są dostępne informacje o uwalnianiu substancji z materiału, można wybrać opcję „natychmiastowe uwalnianie”, która zakłada jednorazowe uwolnienie całej substancji. Jeśli natomiast informacje są dostępne, należy wybrać opcję „stała szybkość uwalniania” i wprowadzić wartości dla 2 dodatkowych parametrów:

- szybkość migracji – szybkość migracji substancji z materiału opakowaniowego do żywności,
- czas przechowywania – czas przechowywania zapakowanej żywności.

Wchłanianie drogą pokarmową szacowane przez ConsExpo wymaga tylko 1 parametru – frakcji wchłoniętej (część przyjętej substancji, która przedostanie się do krwi ze światła jelita), gdyż używany jest tu model frakcyjny. Dla szacowania najgorszego przypadku wprowadza się wartość frakcji wchłoniętej równą 1.

Wartości wyjściowe

Wyniki szacowania przy użyciu ConsExpo otrzymuje się dla każdej rozpatrywanej drogi narażenia. Jeśli w szacowaniu użyte są modele absorpcyjne, wówczas oceniane są także zintegrowane dawki (tzn. zsumowane dawki pochodzące z różnych dróg narażenia). Wyniki otrzymywane z szacowania poszczególnych dróg narażenia opisano poniżej [3].

Droga inhalacyjna

Miary narażenia drogą inhalacyjną ConsExpo podaje jako:

- średnie stężenie w trakcie zdarzenia – średnie stężenie w powietrzu w trakcie narażenia; silnie zależy od założonego czasu trwania narażenia;
- stężenie szczytowe – jest to średnia ważona ze stężenia substancji w powietrzu w czasie 15 min, obliczana dla stężeń bliskich maksymalnemu stężeniu

w danym szacowaniu. Jeśli czas trwania narażenia jest krótszy niż 15 min, zamiast stężenia szczytowego obliczane jest średnie stężenie w trakcie zdarzenia;

- średnie stężenie w dniu narażenia – średnie stężenie w powietrzu w ciągu dnia, w którym nastąpiło narażenie, z uwzględnieniem liczby zdarzeń;
- średnie roczne stężenie – średnie stężenie dzienne substancji w powietrzu, uśrednione dla 1 roku;
- dawka zewnętrzna w trakcie zdarzenia (jednorazowa) – ilość substancji, która potencjalnie może zostać wchłonięta w przeliczeniu na kg mc. podczas 1 zdarzenia narażenia;
- dawka zewnętrzna w dniu narażenia – ilość substancji, która potencjalnie może zostać wchłonięta w przeliczeniu na kg mc. w dniu, w którym nastąpiło narażenie (zewnętrzne dawki dla zdarzeń zachodzących kilkakrotnie w ciągu dnia sumują się);
- dawka wewnętrzna w trakcie zdarzenia – dawka wchłonięta podczas jednorazowego narażenia w przeliczeniu na kg mc.;
- dawka wewnętrzna w dniu narażenia – dawka wchłonięta w dniu, w którym nastąpiło narażenie, w przeliczeniu na kg mc. (może być wyższa niż dawka wewnętrzna w trakcie zdarzenia, jeśli występuje więcej niż 1 zdarzenie narażenia dzienne);
- średnia roczna dawka wewnętrzna – średnia dzienna dawka wchłonięta w przeliczeniu na kg mc., uśredniona dla 1 roku.

Droga dermalna

Wartość narażenia drogą dermalną ConsExpo podaje jako:

- obciążenie dermalne – ilość substancji na cm² ekspozowanej skóry;
- dawka zewnętrzna w trakcie zdarzenia (jednorazowa) – ilość substancji, która potencjalnie może zostać wchłonięta w przeliczeniu na kg mc. podczas jednorazowego narażenia;
- dawka zewnętrzna w dniu narażenia – ilość substancji, która potencjalnie może zostać wchłonięta w przeliczeniu na kg mc. w dniu, w którym nastąpiło narażenie (zewnętrzne dawki dla zdarzeń zachodzących kilkakrotnie w ciągu dnia sumują się);
- dawka wewnętrzna w trakcie zdarzenia – dawka wchłonięta podczas jednorazowego narażenia w przeliczeniu na kg mc.;
- dawka wewnętrzna w dniu narażenia – dawka wchłonięta w dniu, w którym nastąpiło narażenie w przeliczeniu na kg mc. (może być wyższa niż daw-

ka wewnętrzna w trakcie zdarzenia, jeśli występuje więcej niż 1 zdarzenie narażenia dziennie);

- średnia roczna dawka wewnętrzna – średnia dzienna dawka wchłonięta w przeliczeniu na kg mc., uśredniona dla 1 roku.

Droga pokarmowa

Obliczoną przy użyciu ConsExpo wielkość narażenia drogą pokarmową określają wartości:

- dawka zewnętrzna w trakcie zdarzenia (jednorazowa) – ilość substancji, która potencjalnie może zostać wchłonięta drogą pokarmową w przeliczeniu na kg mc. w trakcie jednorazowego narażenia;
- dawka zewnętrzna w dniu narażenia – ilość substancji, która potencjalnie może zostać wchłonięta drogą pokarmową w przeliczeniu na kg mc. w dniu, w którym nastąpiło narażenie;
- dawka wewnętrzna w trakcie zdarzenia – dawka wchłonięta podczas jednorazowego narażenia w przeliczeniu na kg mc.;
- dawka wewnętrzna w dniu narażenia – dawka wchłonięta w dniu, w którym nastąpiło narażenie, w przeliczeniu na kg mc.;
- średnia roczna dawka wewnętrzna – średnia dzienna dawka wchłonięta w przeliczeniu na kg mc., uśredniona dla 1 roku.

Przegląd wybranych zastosowań

Jak wykazał dokonany przegląd piśmiennictwa, ConsExpo jest powszechnie znanym i często używanym w pracach naukowych dotyczących szacowania narażenia konsumentów programem komputerowym. W pracach opublikowanych przed 2016 r. autorzy korzystali z ConsExpo jako z samodzielnego oprogramowania, jednak modele matematyczne i ogólna koncepcja stosowania nie zmieniły się. Wprowadzona w 2016 r. aplikacja ConsExpo Web posiada te same funkcje i modele co samodzielny program ConsExpo, ale w przeciwieństwie do niego jest dostępna przez internet. Obecna wersja aplikacji zawiera zaktualizowane arkusze informacyjne. Została też (względem programu) uzupełniona o kilka dodatkowych opcji (np. obliczanie stężenia szczytowego dla narażenia inhalacyjnego, narzędzie eksportu danych do programu Excel, domyślne listy niektórych parametrów antropometrycznych). Aktualizacje przeprowadzane są na bieżąco i polegają głównie na usuwaniu drobnych błędów oraz wprowadzaniu do aplikacji danych o produktach z najnowszych arkuszy informacyjnych (na bieżąco prowadzone są prace również nad aktualizacją tych arkuszy).

W większości poddanych przeglądowi publikacji naukowych autorzy używali ConsExpo jako jednego z narzędzi do szacowania narażenia w porównaniu z innymi modelami oraz wynikami pomiarów eksperymentalnych w celu oceny trafności szacowania przez poszczególne modele.

Park i wsp. [6] porównywali narzędzia do szacowania narażenia konsumentów na nanocząstki zawarte w aerozolach, a otrzymane wyniki skonfrontowali z wynikami pomiarów. Wykazali, że wyniki szacowania otrzymane przy użyciu ConsExpo były zbliżone do tych otrzymanych przy zastosowaniu innych modeli oraz wyników pomiarowych, ale tylko dla krótszych czasów narażenia (różnice 7–11% dla 10 min od rozpylenia). Dla dłuższych czasów narażenia wartości były znacznie zawyżone względem wyników pomiarów (błąd względny wartości oszacowanej w stosunku do zmierzonej – do 961% dla narażenia trwającego 120 min). Autorzy wnioskowali, że ConsExpo jako model wyższego szczebla jest bardziej odpowiedni do szacowania narażenia na substancje chemiczne w produktach konsumenckich niż inne badane przez nich modele [6].

Również Young i wsp. [7] porównali modele do szacowania narażenia konsumentów. W tej pracy zestawili wyniki szacowania narażenia na pestycydy, otrzymane przy użyciu 2 deterministycznych i 4 probabilistycznych modeli narażenia konsumentów, w tym ConsExpo. Rozpatrywano różne rodzaje pułapek i środków owadobójczych do stosowania w mieszkaniach. ConsExpo szacował dużo wyższe wartości niż pozostałe porównywane modele – w przypadku środka przeciw owadom latającym oszacowane narażenie było o rząd wielkości większe niż otrzymane przy użyciu innych modeli. Autorzy uważają, że wynika to z różnic w założeniach, metodologiach i algorytmach szacowania poszczególnych modeli oraz stosowanych w nich rozkładów wartości wejściowych [7].

Oltmanns i wsp. [8] porównywali modele pierwszego szczebla powszechnie używane do celów rejestracyjnych zgodnie z przepisami rozporządzenia REACH. Modele wyższego rzędu z ConsExpo zostały przez nich użyte jako modele odniesienia w celu oceny konserwatywności porównywanych modeli niższego szczebla. Jeżeli wartość oszacowana modelem pierwszego rzędu przekraczała wartość oszacowaną przez model wyższego rzędu w ConsExpo, wówczas model niższego rzędu uznawany był za konserwatywny (szacowanie dla najgorszego przypadku). Większość wartości oszacowanych przez ConsExpo była niższa niż te oszacowane przez rozpatrywane modele pierwszego rzędu. Auto-

rzy zwracają jednak uwagę, że domyślne w ConsExpo uśrednianie w długim czasie narażenia na produkty używane z niską częstotliwością jest niezgodne ze wskazaniami REACH dla szacowania niższego szczebla [8]. Aplikacja ConsExpo jest również używana jako model odniesienia w przypadku opracowywania całkiem nowych modeli. Webster i wsp. [9] opracowali i przetestowali model do szacowania narażenia w pomieszczeniach. Porównywano wyniki szacowania przy użyciu nowego modelu oraz ConsExpo i pomiarów stężenia w powietrzu 2-butoksyetanolu pochodzącego ze środka czyszczącego nałożonego na blat stołu. Oba modele dla krótkich czasów narażenia zaniżyły wyniki względem wyników pomiarów, natomiast dla dłuższego czasu narażenia (2 godz. od uwolnienia) ConsExpo znacznie przeszacowała wyniki zarówno względem eksperymentu, jak i nowego modelu, którego wartości wyjściowe były zbliżone do wyników pomiarów. Autorzy wskazują, że opracowany przez nich model lepiej oszacował stężenie substancji w powietrzu niż ConsExpo – być może ze względu na to, że w nowym modelu zastosowano inne, bardziej szczegółowe podejście do koncepcji lotności substancji [9].

Porównania nowo opracowanego modelu z ConsExpo dokonali również Petry i wsp. [10]. Szacowali oraz mierzyli stężenie lotnych oraz półlotnych związków organicznych i cząstek stałych (pyłu zawieszonego) pochodzących z powszechnie używanych w domach konsumentów świec zapachowych. Program ConsExpo był modelem niższego rzędu względem nowego modelu rozpatrywanego przez autorów. Wyniki otrzymane przy użyciu ConsExpo były wyższe od wyników oszacowanych nowym modelem ze względu na to, że nowy model przewiduje bardziej realistyczne warunki przepływu powietrza w pomieszczeniach i pomiędzy nimi, natomiast ConsExpo zakłada uwalnianie substancji w 1 pomieszczeniu niepołączonym z żadnymi innymi [10].

Dellarco i wsp. [11] opisują wielopoziomową zintegrowaną strategię oceny narażenia i zagrożeń podczas przeprowadzania analizy ryzyka. Strategia ta jest częścią projektu RISK21, który ma za zadanie m.in. prowadzić do powstania narzędzi ułatwiających przejrzystą i szybką ocenę narażenia (a w następstwie ocenę ryzyka). Jednym ze sposobów osiągnięcia celu projektu jest ograniczenie potrzeby poszukiwania dużej ilości danych poprzez uproszczenie korzystania z łatwo dostępnych danych, takich jak scenariusze narażenia, parametry wejściowe z baz danych i narzędzia do szacowania. Wśród modeli do szacowania narażenia autorzy publikacji wymieniają ConsExpo jako narzędzie pierwszego i drugie-

go szczebla, gdyż aplikacja ta umożliwi zarówno podejście deterministyczne (pierwszy szczebel), jak i probabilistyczne (drugi szczebel) [11]. Twórcy ConsExpo, aktualizując aplikację i sukcesywnie wprowadzając w niej nowe poprawki, są także otwarci na wszelkie sugestie dotyczące ulepszenia narzędzia [4]. McCready i Fontaine [12] podjęli pracę proponującą udoskonalenie modelu „Odparowanie” w ConsExpo. Jak wspomniano, jedną z wymaganych wartości wejściowych w tym modelu jest współczynnik przenikania masy, który może być automatycznie oszacowany przez program 2 metodami. Według autorów metoda Langmuira prowadzi do bardzo dużych przeszacowań, a w konsekwencji – bardzo nierealistycznych wyników. Z kolei użycie metody Thibodeaux zalecają tylko w przypadku analiz przesiewowych (skринingowych). Proponują natomiast szacowanie współczynnika przenikania masy metodą Sparksa, podają obliczenia, jak również przykłady zastosowania tej metody i porównanie wyników szacowania z wynikami pomiarów [12]. Ponadto Zaleski i wsp. [13] dokonali przeglądu najpopularniejszych i najobszerniejszych baz danych zawierających dane wejściowe do szacowania narażenia wśród konsumentów (dotyczące populacji, produktów itp.). Wymieniają oni i opisują bazy danych arkuszy informacyjnych połączone z ConsExpo: dotyczące populacji (RIVM ConsExpo General Fact Sheet) i arkusze informacyjne dla poszczególnych produktów. Autorzy podkreślają, że zarówno rozwój baz danych o narażeniu, jak i nauki oraz techniki związanych z oceną narażenia konsumentów są bardzo ważne. Należy również dążyć do upowszechnienia korzystania z baz danych tego rodzaju i poszerzenia zakresu zawartych w nich informacji [13]. Europejska Agencja Chemikaliów (European Chemicals Agency – ECHA) wydała poradnik na temat wymagań informacyjnych i oceny bezpieczeństwa chemicznego. Jeden z jego rozdziałów zawiera wytyczne oceny narażenia konsumentów [2]. Aplikacja ConsExpo została opisana jako narzędzie zawierające modele wyższego rzędu, polecane dla profesjonalnych użytkowników przeprowadzających oceny narażenia i ryzyka [2].

Przykładowe szacowania przy użyciu ConsExpo

Poniższe ryciny przedstawione są w języku angielskim, gdyż pochodzą bezpośrednio z ConsExpo. Pokazanie rzeczywistego wyglądu okien programu i zawartych w nich zwrotów i poleceń (komend) ma na celu zapoznanie czytelnika z aplikacją i ułatwienie korzystania z niej – zastosowanie przetłumaczonych zwrotów mogłoby wprowadzać w błąd.

Poniżej przedstawiono i omówiono 3 przykładowe szacowania:

1. Narażenie na 2-cyjanoakrylan etylu podczas aplikacji kleju.

Poszczególne etapy szacowania narażenia przy użyciu narzędzia ConsExpo zostały przedstawione na rycinach 1–8.

Na rycinie 1 przedstawiono ekran tworzenia nowego szacowania z użyciem arkusza informacyjnego.

Rycina 1. Zrzut z ekranu przedstawiający pierwszy etap szacowania narażenia przy użyciu narzędzia ConsExpo – wybór rodzaju produktu z dostępnych arkuszy informacyjnych [5]

Figure 1. A screenshot showing the first stage of exposure assessment using the ConsExpo tool – a selection of the product type from the available fact sheets [5]

Parameter	Value	Unit	Quality
General scenario data			
Body weight	65	kg	4
Frequency	12	per year	1
Inhalation data			
Exposure model Exposure to vapour – Evaporation			
Room volume	20	m ³	3
Ventilation rate	0.6	per hour	3
Product amount	0.5	g	2
Release area	0.0002	m ²	3
Application duration	5	minute	2
Molecular weight matrix	3000	g/mol	3
Exposure duration	240	minute	2
Mass transfer coefficient	10	m/hr	2
Product in pure form	no		
The product is used in dilution	no		
Release area mode	Increasing		
Dermal data			
Exposure model Direct product contact – Instant application			
Exposed area	2	cm ²	2
Product amount	0.025	g	1

Rycina 2. Zrzut z ekranu przedstawiający podgląd wartości domyślnych arkusza informacyjnego [5]

Figure 2. A screenshot showing the fact sheet default values preview [5]

Po wybraniu arkusza „Produkty «zrób to sam»”, kategorii produktów „Kleje”, rodzaju produktu „Super glue” wybiera się scenariusz narażenia, w tym przypadku „Aplikacja”.

Następnie wyświetla się podgląd wartości domyślnych dla wybranego arkusza informacyjnego, które zostaną wykorzystane do szacowania (rycina 2).

W oknie „Ustawienia szacowania”, przedstawionym na rycinie 3, wprowadza się dane dotyczące produktu, rozpatrywanej substancji oraz narażonej populacji. Do utworzonego szacowania generuje się następnie nowy scenariusz narażenia. W celu ułatwienia szacowania można również wybrać go z arkuszy informacyjnych (rycina 4).

Rycina 3. Zrzut z ekranu przedstawiający okno ustawień szacowania w ConsExpo [5]

Figure 3. A screenshot showing the assessment settings window in ConsExpo [5]

Rycina 4. Zrzut z ekranu przedstawiający wybór scenariusza narażenia z arkuszy informacyjnych ConsExpo [5]

Figure 4. A screenshot showing the selection of an exposure scenario from the ConsExpo fact sheets [5]

Rycina 5. Zrzuty z ekranu przedstawiające okna edycji scenariusza narażenia w ConsExpo [5]
 Figure 5. Screenshots showing windows of the exposure scenario edition in ConsExpo [5]

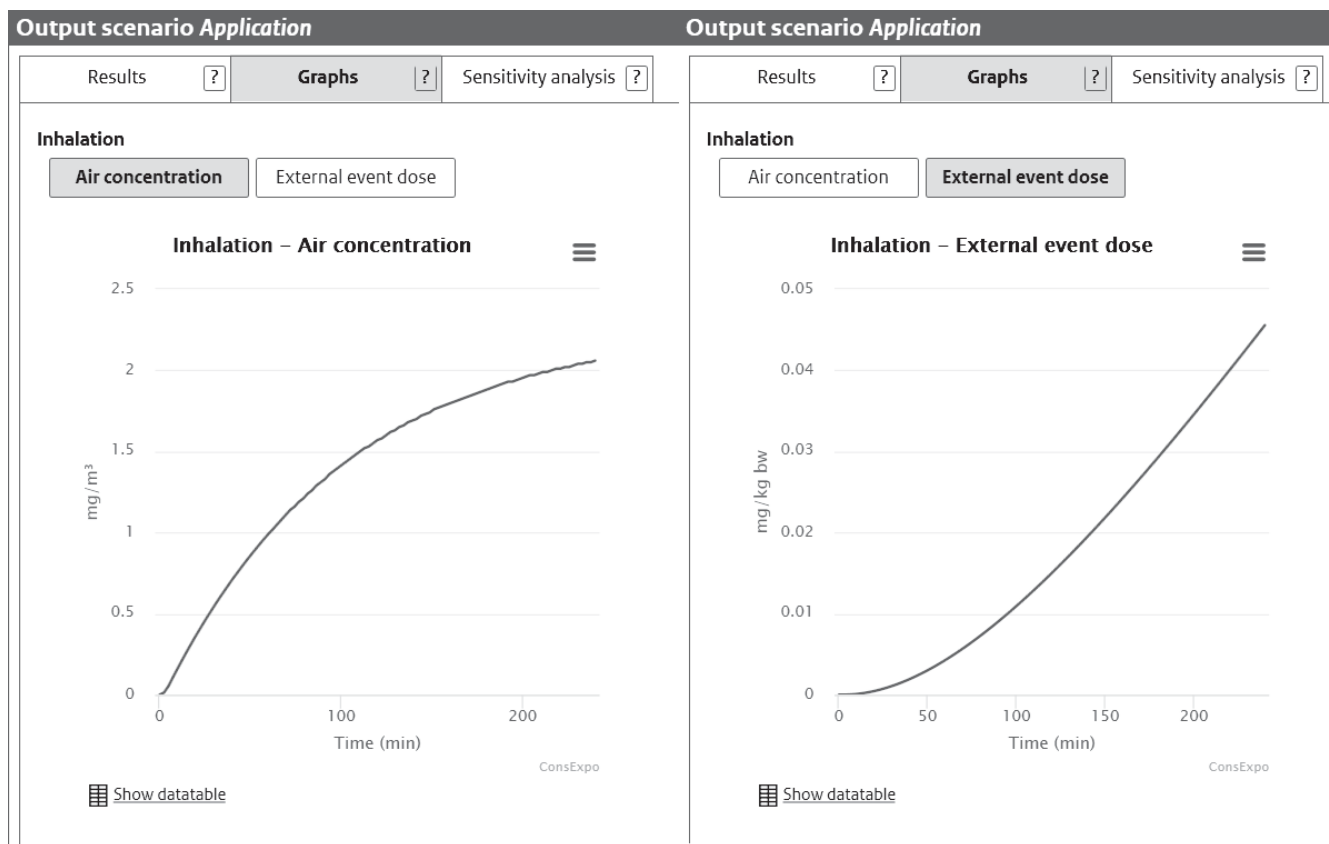
Rycina 6. Zrzut z ekranu przedstawiający podgląd scenariusza narażenia w ConsExpo [5]
 Figure 6. A screenshot showing the exposure scenario preview in ConsExpo [5]

Rycina 5 przedstawia okna edycji scenariusza narażenia. Na tym etapie wybiera się modele szacowania dla każdej z rozpatrywanych dróg narażenia, uzupełnia brakujące lub zmienia domyślne dane dotyczące narażenia i wymagane do szacowania właściwości fizykochemiczne rozpatrywanej substancji. Podgląd scenariusza narażenia pokazuje, dla których dróg oraz za pomocą których modeli i trybów zostanie oszacowane narażenie (rycina 6). Aby pro-

Rycina 7. Zrzut z ekranu przedstawiający wyniki szacowania podawane przez ConsExpo [5]
 Figure 7. A screenshot showing the assessment results given by ConsExpo [5]

gram dokonał obliczeń, należy kliknąć przycisk „Simulate”.

Po dokonaniu obliczeń program wyświetla wyniki. W zakładce „Results” podane są wyniki szacowa-



Rycina 8. Zrzuty z ekranu przedstawiające wyniki szacowania w postaci wykresów (dostępne tylko dla modeli zależnych od czasu) generowane przez ConsExpo [5]

Figure 8. Screenshots showing the assessment results in the form of graphs (available only for the models dependent on time) generated by ConsExpo [5]

nia w postaci liczbowej (rycina 7). Program umożliwia także wygenerowanie raportu z szacowania – po przypisaniu scenariusza narażenia i dokonaniu wszystkich obliczeń w oknie „Ustawienia szacowania” („Assessment settings”) należy kliknąć przycisk „Report” (nie jest on widoczny na rycinie 3, gdyż został tam przedstawiony etap przed dokonaniem obliczeń, a okno ustawień znajduje się w trybie edycji). Raport zawiera wartości użyte do szacowania, wybrane ustawienia oraz otrzymane wyniki. Raport można pobrać i zapisać na komputerze w formie pliku tekstowego otwieranego w programie Excel.

Jeśli dany model był zależny od czasu trwania narażenia, wówczas w zakładce „Graphs” dostępne są wykresy różnych miar narażenia od czasu. Wykresy generowane przez ConsExpo na podstawie obliczeń przedstawia rycina 8. Wyniki szacowania porównane z wartością znaną w literaturze zamieszczono w tabeli 2. Stężenie 2-cyanoakrylanu etylu w po-

wietrzu oszacowane przy użyciu ConsExpo jest niższe o 0,2 mg/m³ (12,5%) od wartości znalezionej w literaturze [14].

- Raport z szacowania narażenia na fluorek sodu w paście do zębów (dzieci w wieku 3–5 lat) przedstawia rycina 9. Sposób generowania takiego raportu opisano wyżej. Wyniki szacowania porównane z wartością znaną w literaturze zamieszczono w tabeli 2. Dawka fluorku sodu oszacowana przy użyciu ConsExpo jest wyższa o 0,07 mg/kg mc. (53,8%) od wartości znalezionej w literaturze [15].
- Raport z szacowania narażenia na 1,2-benzoizotiazolin-3-on (środek konserwujący) w płynie do mycia naczyń (rycina 10). Wyniki szacowania uzyskane z ConsExpo porównane z wartością znaną w literaturze zamieszczono w tabeli 2. Obciążenie dermalne 1,2-benzoizotiazolin-3-onem oszacowane przy użyciu ConsExpo jest wyższe o 33,6 ng/cm² (218,2%) od wartości znalezionej w literaturze [16].

Tabela 2. Porównanie wartości narażenia na: 2-cyanoakrylan etylu podczas aplikacji kleju, fluorek sodu w paście do zębów (dzieci w wieku 3–5 lat), 1,2-benzisotiazolin-3-on (środek konserwujący) w płynie do mycia naczyń oszacowanej przez ConsExpo z wartościami znalezionymi w literaturze

Table 2. A comparison of the values of exposure to ethyl 2-cyanoacrylate during glue application, sodium fluoride in a toothpaste (children aged 3–5 years), and 1,2-benzisothiazolin-3-one (a preservative) in a dishwashing liquid, estimated by ConsExpo, with the values found in literature

Zmienna Value	Produkt (substancja) Product (substance)	Wartość oszacowana w ConsExpo Value estimated in ConsExpo	Wartość z piśmiennictwa Value from references
Średnie stężenie substancji w powietrzu w trakcie zdarzenia / Mean event substance concentration in air [mg/m ³]	klej (2-cyanoakrylan etylu) / glue (ethyl 2-cyanoacrylate)	1,4	1,6 [14]
Dawka zewnętrzna w dniu narażenia [mg/kg mc.] / External dose on the day of exposure [mg/kg bw]	pasta do zębów (fluorek sodu) / toothpaste (sodium fluoride)	0,20	0,13 [15]
Obciążenie dermalne / Dermal load [ng/cm ²]	płyn do mycia naczyń (1,2-benzisotiazolin-3-on) / dishwashing liquid (1,2-benzisothiazolin-3-one)	49,0	15,4 [16]

Report for assessment Przykładowe szacowanie-pasta do zębów
ConsExpo Web - Fri Feb 01 2019

Substance

Name	Sodium fluoride
CAS number	7681-49-4
Molecular weight	42 g/mol
Kow	-

Product

Name	Przykładowa pasta do zębów
Weight fraction substance	0.32 %

Population

Name	children 3-5 yrs
Body weight	17.2 kg

Scenarios
> Scenario Application: child 3-5 yrs

Scenario Application: child 3-5 yrs

Frequency	730 per year
Description	

Inhalation

Exposure model	n.a.
Absorption model	n.a.

Dermal

Exposure model	n.a.
Absorption model	n.a.

Oral

Exposure model	Direct product contact - Direct oral intake
Weight fraction substance	0.32 %
Amount ingested	0.53 g
Absorption model	n.a.

Results for scenario Application: child 3-5 yrs Show dose descriptions

Oral

External event dose	9.9×10^{-2} mg/kg bw
External dose on day of exposure	2.0×10^{-1} mg/kg bw

Download Close

Rycina 9. Zrzut z ekranu przedstawiający wygenerowany przez aplikację ConsExpo raport zawierający wyniki szacowania narażenia na fluorek sodu w paście do zębów, dane dotyczące rozpatrywanego produktu, substancji i narażonej populacji oraz niektóre wartości wejściowe [5]

Figure 9. A screenshot showing the report generated by ConsExpo containing the results of the assessment of exposure to sodium fluoride in a toothpaste, data of the product, substance and exposed population, and some input values [5]

WNIOSKI

ConsExpo Web jest przydatnym narzędziem do szacowania narażenia konsumentów. Powiązana z aplikacją baza danych z arkuszami informacyjnymi, w których znajdują się domyślne wartości parametrów i scenariusze narażenia dla dużej liczby produktów konsumencyjnych, ułatwia przeprowadzenie szacowania. ConsExpo posiada wiele modeli opisujących różne drogi narażenia oraz sposoby uwolnienia substancji. To sprawia, że użytkownik może wybrać model jak najlepiej opisujący rozpatrywaną przez niego sytuację narażenia, co zwiększa prawdopodobieństwo poprawności wyników szacowania. Zaletą programu jest także jego nieodpłatny dostęp przez internet.

Natomiast wadą aplikacji jest brak dostępności wszystkich wymaganych (nawet przykładowych) parametrów w arkuszach informacyjnych mimo wyposażenia aplikacji w modele wyższych rzędów (tryby „Odparowanie” i „Rozpylanie” oraz model „Emisji z materiałów stałych” dla narażenia drogą inhalacyjną, tryby „Ścieranie”, „Migracja” i „Dyfuzja” dla narażenia drogą dermalną oraz tryby „Spożycie ze stałą szybkością” i „Migracja” oraz model „Migracji z materiału opakowaniowego” dla narażenia drogą pokarmową). Odnalezienie lub oszacowanie wartości dla specyficznych parametrów jest bardzo trudne dla przeciętnego użytkownika i niestety program tego nie ułatwia.

W poradniku ECHA na temat wymagań informacyjnych i oceny bezpieczeństwa chemicznego dotyczącego szacowania narażenia konsumentów w rozdziale R.15.3 [2] podano inne niż w ConsExpo bazy danych i dokumenty zawierające niektóre wartości domyślne dla szacowania narażenia pierwszego szczebla (m.in. dane antropometryczne, dane dotyczące pomieszczeń). Dane te mogą być opracowane dla innych populacji niż

Report for assessment Przykładowe szacowanie-płyn do mycia naczyń		
ConsExpo Web - Fri Feb 01 2019		
Substance		
Name	1,2-Benzisothiazolin-3-one	
CAS number	2634-33-5	
Molecular weight	151	g/mol
Kow	-	
Product		
Name	Przykładowy płyn do mycia naczyń	
Weight fraction substance	0.0015	%
Population		
Name		
Body weight	68.8	kg
Scenarios		
> Scenario Application - manual dishwashing 1		
Scenario Application - manual dishwashing 1		
Frequency	1100	per year
Description		
Inhalation		
Exposure model	Exposure to vapour - Evaporation	
Exposure duration	45	minute
Product is substance in pure form	No	
Molecular weight matrix	18	g/mol
The product is used in dilution	Yes	
Dilution	700	times
Product amount	5000	g
Weight fraction substance	0.0015	%
Room volume	15	m ³
Ventilation rate	2.5	per hour
Inhalation rate	25	l/min
Application temperature	25	°C
Vapour pressure	0.00037	Pa
Molecular weight	151	g/mol
Mass transfer coefficient	10	m/hr
Release area mode	Constant	
Release area	0.16	m ²
Emission duration	45	minute
Absorption model	n.a.	
Dermal		
Exposure model	Direct contact - Instant application	
Exposed area	2200	cm ²
Weight fraction substance	0.0015	%
Product amount	7.14	g
Absorption model	n.a.	
Oral		
Exposure model	n.a.	
Absorption model	n.a.	
Results for scenario Application - manual dishwashing 1 <input type="checkbox"/> Show dose descriptions		
Inhalation		
Mean event concentration	1.3×10^{-12}	mg/m ³
Peak concentration (TWA 15 min)	1.9×10^{-12}	mg/m ³
Mean concentration on day of exposure	1.2×10^{-13}	mg/m ³
Year average concentration	1.2×10^{-13}	mg/m ³
External event dose	2.2×10^{-14}	mg/kg bw
External dose on day of exposure	6.5×10^{-14}	mg/kg bw
Dermal		
Dermal load	4.9×10^{-5}	mg/cm ²
External event dose	1.6×10^{-3}	mg/kg bw
External dose on day of exposure	4.7×10^{-3}	mg/kg bw
		Download Close

Rycina 10. Zrzut z ekranu przedstawiający wygenerowany przez aplikację ConsExpo raport zawierający wyniki szacowania narażenia na 1,2-benzoizotiazolin-3-on (środek konserwujący) w płynie do mycia naczyń, dane dotyczące rozpatrywanego produktu, substancji i narażonej populacji oraz niektóre wartości wejściowe [5]

Figure 10. A screenshot showing the report generated by ConsExpo containing the results of the assessment of exposure to 1,2-benzisothiazolin-3-one (a preservative) in a dishwashing liquid, data of the product, substance and exposed population, and some input values [5]

dane z arkuszy informacyjnych ConsExpo, co może okazać się przydatne w zależności od rodzaju szacowania i narażonej populacji.

Należy jednak uznać ConsExpo za użyteczne narzędzie, zwłaszcza do prowadzenia analiz pierwszego rzędu do wstępnej oceny narażenia konsumentów – jeśli zaś posiada się bardziej szczegółowe dane potrzebne do oszacowania narażenia oraz o rozpatrywanej substancji, wówczas przeprowadzenie szacowania wyższego szczebla jest również możliwe.

Dla polskiego użytkownika najkorzystniejsze byłoby wprowadzenie wersji polskojęzycznej ConsExpo lub wydanie szczegółowej instrukcji użytkownika w języku polskim. Niniejsza publikacja przybliży ConsExpo polskim użytkownikom poprzez opisanie modeli i przetłumaczenie nazw parametrów wymaganych do szacowania oraz wartości wyjściowych i ich opis, co w pewnym stopniu może ułatwić korzystanie z aplikacji bardziej zaawansowanym użytkownikom.

Dokonany przegląd piśmiennictwa wskazuje na to, że ConsExpo jest szeroko stosowanym narzędziem do szacowania narażenia wśród naukowców zajmujących się modelowaniem i pomiarami narażenia konsumentów na substancje chemiczne [6,7]. Wykorzystywany jest przez nich także jako model odniesienia [8–10], choć sam może być jeszcze w znacznym stopniu ulepszony [12]. Autorzy zwracają jednak uwagę na to, że ConsExpo wykazuje tendencję do podawania zbyt wysokich wartości narażenia, często znacznie zawyżonych względem rzeczywistych stężeń [6,7,9,10]. Gdy program ConsExpo jest stosowany do szacowania niższego szczebla, stosunkowo wysokie wyniki szacowania są normą. Zawyżanie wyników szacowania względem rzeczywistych wartości przez modele pierwszego rzędu, najczęściej używane do szacowania dla najgorszego przypadku, jest właściwe, ponieważ można wstępnie określić wielkość narażenia z zachowaniem marginesu bezpieczeństwa.

Trzeba mieć na uwadze, że ConsExpo to model i jest tylko uproszczonym odwzorowaniem rzeczywistości,

a wyniki uzyskane przy użyciu szacowania są przybliżeniem rzeczywistego narażenia, dlatego zawsze powinny być oceniane przez eksperta na podstawie jego wiedzy i naukowych źródeł danych.

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), 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. DzU z 2007 r., L 136 z późn. zm.
2. European Chemicals Agency: Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment. Chapter R.15: Consumer exposure assessment. Version 3.0. [Internet]. Agency, Helsinki 2016 [cytowany 8 stycznia 2019]. Adres: https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/information_requirements_r15_en.pdf
3. Delmaar J.E., Schuur A.G.: ConsExpo Web. Consumer exposure models. Model documentation. Update for ConsExpo Web 1.0.2. RIVM Report 2017-0197 [Internet]. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven 2017 [cytowany 21 stycznia 2019]. Adres: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2017-0197.pdf>
4. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) [Internet]. Institute, Bilthoven 2018 [cytowany 5 lutego 2019]. ConsExpo. Adres: <https://www.rivm.nl/en/consexpo>
5. RIVM ConsExpo Web, version 1.0.5 [Internet]. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven 2018 [cytowany 1 lutego 2019]. Adres: www.consexpweb.nl
6. Park J., Yoon C., Lee K.: Comparison of modeled estimates of inhalation exposure to aerosols during use of consumer spray products. *Int. J. Hyg. Environ. Health.* 2018;221:941–950, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.05.005>
7. Young B.M., Tulve N.S., Egeghy P.P., Driver J.H., Zartarian V.G., Johnston J.E. i wsp.: Comparison of four probabilistic models (CARES[®], Calendex[™], ConsExpo, and SHEDS) to estimate aggregate residential exposures to pesticides. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2012;22(5):522–532, <https://doi.org/10.1038/jes.2012.54>
8. Oltmanns J., Neisel F., Heinemeyer G., Kaiser E., Schneider K.: Consumer exposure modelling under REACH: Assessing the defaults. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2015;72: 222–230, <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.04.013>
9. Webster E.M., Qian H., Mackay D., Christensen R.D., Tietjen B., Zaleski R.: Modeling Human Exposure to Indoor Contaminants: External Source to Body Tissues. *Environ. Sci. Technol.* 2016;50:8697–8704, <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00895>
10. Petry T., Vitale D., Joachim F.J., Smith B., Cruse L., Mascarenhas R. i wsp.: Human health risk evaluation of selected VOC, SVOC and particulate emissions from scented candles. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2014;69:55–70, <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2014.02.010>
11. Dellarco M., Zaleski R., Gaborek B.J., Qian H., Bellin C.A., Egeghy P. i wsp.: Using exposure bands for rapid decision making in the RISK21 tiered exposure assessment. *Crit. Rev. Toxicol.* 2017;47(4):317–341, <https://doi.org/10.1080/10408444.2016.1270255>
12. McCready D., Fontaine D.: Refining ConsExpo Evaporation and Human Exposure Calculations for REACH. *Hum. Ecol. Risk Assess.* 2010;16:783–800, <https://doi.org/10.1080/10807039.2010.501242>
13. Zaleski R.T., Egeghy P.P., Hakkinen P.J.: Exploring Global Exposure Factors Resources for Use in Consumer Exposure Assessments. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2016;13:744, <https://doi.org/10.3390/ijerph13070744>
14. London M.A., Lee S.A., Smith A.B., Kopp S., Bascom R.: Health hazard evaluation report HETA-84-371-1729: Orbitron Products. U.S. National Institute for Occupational Safety and Health, Delphos, Cincinnati 1986 [cyt. za: Soćko R., Czerczak S.: 2-Cyjanoakrylan etylu. Dokumentacja dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2011;3(69):31–45], <https://doi.org/10.26616/nioshheta843711729>
15. Erdal S., Buchanan S.N.: A Quantitative Look at Fluorosis, Fluoride Exposure, and Intake in Children Using a Health Risk Assessment Approach. *Environ. Health Perspect.* 2005;113:111–117, <https://doi.org/10.1289/ehp.7077>
16. Garcia-Hidalgo E., Schneider D., von Goetz N., Delmaar C., Siegrist M., Hungerbühler K.: Aggregate consumer exposure to isothiazolinones via household care and personal care products: Probabilistic modelling and benzisothiazolinone risk assessment. *Environ. Int.* 2018;118:245–256, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.05.047>

Ten utwór jest dostępny w modelu open access na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa – Użycie niekomercyjne 3.0 Polska / This work is available in Open Access model and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Poland License – <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/pl>.