

## *Triphenyl phosphate as a substance of very high concern*

# Fosforan trifenylu jako substancja stanowiąca bardzo duże zagrożenie



DOI: 10.15199/62.2025.2.10

*Triphenyl phosphate has been classified as a substance of very high concern and included by the European Chemicals Agency (ECHA) on the candidate list of substances subject to the authorization procedure. The uses of triphenyl phosphate, the potential sources of its release into the environment, the effects on humans and the environment, the implications of being placed on the candidate list, and the implications of introducing a new value of the max. admissible concn. occupational exposure limit for the substance were discussed.*

**Keywords:** substance of very high concern, candidate list, REACH regulation, maximum admissible concentration

Fosforan trifenylu został sklasyfikowany jako substancja stanowiąca bardzo duże zagrożenie i wpisany przez Europejską Agencję Chemikaliów (ECHA) na listę kandydacką substancji podlegających procedurze udzielania zezwoleń. Wiąże się to z nałożeniem na przedsiębiorstwa określonych obowiązków wynikających z przepisów rozporządzenia REACH. W artykule omówiono zastosowania fosforanu trifenylu, potencjalne źródła jego uwalniania do środowiska, oddziaływanie na człowieka i środowisko, konsekwencje umieszczenia na liście kandydackiej oraz skutki wynikające z wprowadzenia dla tej substancji nowej wartości najwyższego dopuszczalnego stężenia w środowisku pracy. **Słowa kluczowe:** substancja stanowiąca bardzo duże zagrożenie, lista kandydacka, rozporządzenie REACH, najwyższe dopuszczalne stężenie

Fosforan trifenylu (nr CAS 115-86-6) w ostatnim czasie wzbudza szczególnie duże zainteresowanie ze względu na nowe wymagania stawiane przedsiębiorstwom związane ze stosowaniem tej substancji. Związek ten został uznany przez Europejską Agencję Chemikaliów (ECHA) za substancję stanowiącą bardzo duże zagrożenie (SVHC) i z dniem 7 listopada 2024 r. został wpisany, na mocy decyzji nr D(2024)6225-DC, na listę kandydacką substancji, które mogą być objęte wymogiem uzyskania zezwolenia. Oficjalna lista kandydacka SVHC dostępna jest na stronie internetowej ECHA i stanowi jedyny wiarygodny wykaz takich substancji<sup>1)</sup>. Wykaz substancji podlegających proce-

durze udzielania zezwoleń jest zamieszczany w załączniku XIV do rozporządzenia REACH<sup>2)</sup>, a jego celem jest promowanie stopniowego zastępowania substancji SVHC przez mniej szkodliwe alternatywy lub nowoczesne technologie w sytuacjach, gdy takie rozwiązania są możliwe do wprowadzenia z uwagi na aspekty ekonomiczne i techniczne. Obecnie lista kandydacka obejmuje już 242 pozycje, w tym grupy substancji, co sprawia, że rzeczywista liczba objętych nią związków jest znacznie większa.

Substancje stanowiące bardzo duże zagrożenie to substancje, które definiuje się następująco: (i) substancje spełniające kryteria przyjęte dla substancji rakotwórczych, mutagennych lub działających szkodliwie na rozrodczość (CMR) kategorii 1A lub 1B, zgodnie z treścią rozporządzenia CLP<sup>3)</sup>, (ii) substancje trwałe, wykazujące zdolność do bioakumulacji i toksyczne (PBT) lub bardzo trwałe i wykazujące bardzo dużą zdolność do bioakumulacji (vPvB), zgodnie z treścią załącznika XIII do rozporządzenia REACH<sup>2)</sup>, oraz (iii) każda substancja poddana indywidualnej ocenie, która wzbudza nie mniejsze obawy niż substancje sklasyfikowane jako CMR lub PBT/vPvB.

Fosforan trifenylu został sklasyfikowany jako substancja stanowiąca bardzo duże zagrożenie ze względu na właściwości zaburzające funkcjonowanie układu hormonalnego (art. 57(f) rozporządzenia REACH<sup>1)</sup>). Naukowe dowody wskazują, że jego działanie może powodować poważne



Dr inż. Dorota KONDEJ (ORCID: 0000-0001-9033-1273) ukończyła studia z zakresu inżynierii chemicznej i procesowej na Politechnice Warszawskiej. Pracuje na stanowisku adiunkta w Zakładzie Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym w Warszawie. Specjalność – inżynieria środowiska.

**\* Adres do korespondencji:**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, tel.: (22) 623-46-94, fax: (22) 623-36-93, e-mail: dokon@ciop.pl

skutki dla środowiska, porównywalne z zagrożeniami wynikającymi z działania substancji CMR lub PBT/vPvB.

### Zastosowanie fosforanu trifenyłu

Fosforan trifenyłu to bezbarwne lub białe ciało stałe o subtelnym zapachu przypominającym fenol. Wybrane właściwości fizyczno-chemiczne tej substancji przedstawiono w tabeli. Jest otrzymywany w wyniku endotermicznej reakcji fenolu z tlenochlorkiem fosforu i późniejszej destylacji. Dzięki swoim właściwościom znalazł szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach. Jednym z głównych powodów jego zastosowania jest zwiększanie ognioodporności materiałów. Substancja ta jest używana jako środek zmniejszający palność, który pomaga zapobiegać lub spowalniać rozprzestrzenianie się ognia. Fosforan trifenyłu pełni także funkcję plastyfikatora, czyli substancji, która zwiększa elastyczność i trwałość polimerów, co czyni je bardziej odpornymi na uszkodzenia i zużycie<sup>5, 6</sup>.

Początkowo fosforan trifenyłu stosowano jako substancję zmniejszającą palność w produkcji komponentów do zastosowań elektrycznych i samochodowych. Dodatkowo odgrywał rolę niepalnego plastyfikatora przy produkcji octanu celulozy, wykorzystywanego do wytwarzania klisz fotograficznych<sup>7</sup>. Obecnie jest szeroko stosowany w budownictwie, przemyśle motoryzacyjnym, elektronicznym, naftowym i tekstylnym<sup>8</sup>.

Fosforan trifenyłu jest wykorzystywany m.in. do produkcji klejów, uszczelnaczy, powłok oraz chemikaliów laboratoryjnych. Stosowany jest również w pracach badawczo-rozwojowych oraz procesach przemysłowych, takich jak synteza innych związków chemicznych. Współcześnie fosforan trifenyłu jest wykorzystywany w produkcji opakowań z tworzyw sztucznych i sztywnych pianek poliuretanowych oraz tworzyw termoplastycznych<sup>9</sup>. Substancja ta pełni funkcję środka zmniejszającego palność i/lub plastyfikatora w wielu aplikacjach, w tym w preparatach polimerowych, tekstyliach, materiałach budowlanych, sprzęcie elektronicznym, a także w produktach higieny osobistej<sup>10</sup>. Fosforan trifenyłu jest również wykorzystywany w kosmetykach, w tym w emaliach i lakierach do paznokci<sup>11</sup>. Często występuje jako zanieczyszczenie w innych fosforoorganicznych środkach zmniejszających palność. Jest także wykorzystywany w produkcji płynów hydraulicznych oraz olejów smarnych, które działają w ekstremalnych warunkach ciśnienia (np. w lotnictwie)<sup>12</sup>.

Ze względu na różnorodne zastosowania substancja ta może być obecna zarówno w środowisku przemysłowym, jak i w życiu codziennym konsumentów.

### Potencjalne źródła uwalniania fosforanu trifenyłu do środowiska

W trakcie procesów przemysłowych fosforan trifenyłu może przenikać do otoczenia. Może to nastąpić na etapie przygotowywania mieszanin chemicznych lub produkcji wyrobów. W niektórych przypadkach emisja może wystąpić także w trakcie obróbki materiałów, np. podczas cięcia

tekstyliów, obróbki skrawaniem lub innych działań powodujących jego uwalnianie<sup>13, 14</sup>.

Substancja ta może również przenikać do środowiska podczas użytkowania produktów w warunkach domowych i przemysłowych. Fosforan trifenyłu może być uwalniany podczas codziennego użytkowania produktów, zarówno wewnątrz pomieszczeń, jak i na zewnątrz. W pomieszczeniach może pochodzić z detergentów, farb, powłok, klejów, substancji zapachowych i odświeżaczy powietrza. Na zewnątrz uwalnianie może mieć miejsce w przypadku stosowanych na różnych powierzchniach farb, powłok i klejów<sup>15, 16</sup>.

Dodatkowo substancja ta jest obecna w materiałach charakteryzujących się długą żywotnością (np. jako środek wiążący w farbach i powłokach lub klejach), co może prowadzić do jej stopniowego uwalniania. Na zewnątrz emisja może pochodzić z konstrukcji budowlanych wykonanych z drewna, metalu lub plastiku. W pomieszczeniach substancja może uwalniać się z przedmiotów, takich jak podłogi, meble, zabawki, zasłony, wyroby skórzane, papierowe oraz urządzenia elektroniczne<sup>17</sup>.

Fosforan trifenyłu został wykryty w takich materiałach, jak: (i) tekstylia obejmujące ubrania, materace, zasłony, dywany, tekstylne zabawki; (ii) wyroby papierowe, m.in. chusteczki higieniczne, produkty higieny kobiecej, pieluchy, książki, czasopisma i tapety; (iii) wyroby z tworzyw sztucznych obejmujące opakowania żywności, zabawki oraz urządzenia elektroniczne, np. telefony komórkowe.

Wyniki badań wskazują, że fosforan trifenyłu jest obecny w środowisku naturalnym, w powietrzu, wodzie, glebie i osadach w różnych regionach na całym świecie<sup>18-20</sup>. Wykryto go również w środowisku wewnętrznym, głównie w kurzu w pomieszczeniach oraz w powietrzu<sup>21</sup>. Wszechstronne zastosowanie i liczne drogi uwalniania do otoczenia wskazują na trudności związane z ograniczeniem jego oddziaływania na środowisko.

### Oddziaływanie na człowieka i środowisko

Wyniki badań dotyczących fosforanu trifenyłu wskazują na jego istotny wpływ na gospodarkę hormonalną, co zostało stwierdzone w analizach przeprowadzonych zarówno w warunkach laboratoryjnych (*in vitro*), jak i w badaniach na żywych organizmach (*in vivo*).

Badania *in vitro* wskazują, że fosforan trifenyłu może działać jako agonista na jądrowe receptory estrogenowe u różnych gatunków kręgowców, takich jak szczury, myszy, ryby, kurczaki, żaby i żółwie. Jest to potwierdzone przez aktywację transkrypcji genów regulowanych przez te receptory w liniach komórkowych<sup>22-24</sup>. Ponadto fosforan trifenyłu wywołuje zmiany w ekspresji genów odpowiedzialnych za szlak estrogenowy oraz fizjologiczne odpowiedzi, takie jak zwiększona proliferacja komórek<sup>25, 26</sup>.

Badania na rybach wykazały negatywny wpływ fosforanu trifenyłu na płodność ryb oraz ich zdolności reprodukcyjne. Zakłócenia te mogą obejmować zmniejszoną liczbę potomstwa, obniżenie jakości gamet oraz inne nieprawidłowości

wości związane z rozmnażaniem. Badania *in vivo* na rybach wykazały, że fosforan trifenylu znacząco wpływa na poziomy hormonów steroidowych<sup>27</sup>). Te zaburzenia hormonalne są zależne od gatunku, stadium rozwojowego ryb i badanych stężeń substancji. Zmiany stężenia białka regulowanego przez estrogeny u samic i samców danio pręgowanego wskazują na aktywność estrogenową i androgenową fosforanu trifenylu, zarówno w badaniach laboratoryjnych, jak i eksperymentach terenowych<sup>28</sup>). U ryb obu płci zaobserwowano zaburzenia procesu gametogenezy, w tym zmiany w strukturze jąder<sup>29</sup>). Fosforan trifenylu wpływa na kluczowe parametry reprodukcji, takie jak obniżenie produkcji jaj<sup>30</sup>), zakłócenie procesu tarła<sup>28, 29</sup>), zmniejszenie wskaźnika wylęgu<sup>28, 31</sup>) i spadek wskaźnika zapłodnienia<sup>29, 31</sup>). Zaburzenia w reprodukcji ryb mogą prowadzić do destabilizacji całych populacji. Spadek płodności i plenności wpływa na liczebność ryb, co może mieć poważne konsekwencje ekologiczne na poziomie populacji i całych ekosystemów wodnych.

Fosforan trifenylu może również aktywować receptor estrogenowy GPER<sup>32, 33</sup>). Eksperymenty z wykorzystaniem testów na ludzkich komórkach raka nadnerczy pokazują, że substancja ta wpływa na steroidogenezę, podnosząc poziomy estrogenów oraz ekspresję genów zaangażowanych w ten proces<sup>33</sup>).

Istnieje coraz więcej dowodów sugerujących, że czynniki zaburzające gospodarkę hormonalną mają szkodliwy wpływ na zdrowie<sup>34</sup>). W badaniach z ostatnich lat wykazano, że fosforan trifenylu może indukować insulinooporność<sup>35</sup>) oraz powodować zaburzenia układu rozrodczego u mężczyzn w wyniku hamowania fuzji mitochondriów, apoptozy komórek Leydiga i zmniejszenia wydzielania testosteronu<sup>36</sup>). Ponadto wskazuje się na związek fosforanu trifenylu z progresją raka jelita grubego i glejaka<sup>37, 38</sup>).

Dostępne dane potwierdzają obecność fosforanu trifenylu nie tylko u zwierząt, ale również w ludzkim łożysku, krwi, moczu i mleku matki, gdzie współwystępuje z innymi fosforoorganicznymi środkami zmniejszającymi palność<sup>18</sup>). To jednoczesne narażenie stanowi dodatkowy powód do niepokoju.

Fosforan trifenylu wzbudza szczególne obawy, a jego obecność w środowisku stanowi poważne zagrożenie z uwagi na dotkliwość i nieodwracalność skutków, szerokie spektrum zagrożonych gatunków oraz trudności w określeniu bezpiecznych poziomów narażenia, ponieważ skutki endokryne są trudne do przewidzenia i kontrolowania w środowisku.

### **Konsekwencje umieszczenia fosforanu trifenylu na liście kandydackiej**

Identyfikacja fosforanu trifenylu jako substancji stanowiącej bardzo duże zagrożenie oraz wpisanie na listę kandydacką ECHA wiąże się z nałożeniem na przedsiębiorstwa określonych obowiązków wynikających z przepisów rozporządzenia REACH, w szczególności z art. 7, 31 i 33 tego aktu prawnego<sup>2</sup>). Obowiązki te wchodzi w życie w momencie umieszczenia substancji na liście,

co w przypadku fosforanu trifenylu nastąpiło 7 listopada 2024 r. Regulacje te obejmują substancję w jej własnej postaci, występującą w składzie mieszanin, jak również w wyrobach. Wyroby, zgodnie z definicją rozporządzenia REACH, to przedmioty, które w trakcie produkcji uzyskują określony kształt, powierzchnię, konstrukcję lub wygląd zewnętrzny, co decyduje o ich funkcji w większym stopniu niż ich skład chemiczny.

W przypadku substancji znajdującej się na liście kandydackiej substancji SVHC producenci oraz importerzy wyrobów mają obowiązek poinformowania ECHA. Dotyczy to sytuacji, gdy wprowadzenie danej substancji do wyrobów spełnia określone warunki. Przede wszystkim wymagane jest zgłoszenie, gdy stężenie substancji w konkretnym wyrobie przekracza 0,1% mas. Dodatkowo zgłoszenie należy złożyć, jeśli łączna ilość tej substancji we wszystkich wyrobach produkowanych lub importowanych przez przedsiębiorstwo przekracza rocznie 1 t. Należy dostarczyć istotne informacje, które obejmują dane identyfikacyjne przedsiębiorstwa, w tym dane kontaktowe, oraz szczegóły dotyczące substancji. Ważne jest podanie jej nazwy oraz numeru rejestracyjnego, jeżeli jest dostępny. Ponadto przedsiębiorstwo powinno wskazać wielkość obrotu substancji w zgłoszonych wyrobach oraz krótki opis jej zastosowań, a także zastosowań samych wyrobów, w których substancja ta się znajduje.

Jeżeli w przyszłości nastąpią jakiegokolwiek zmiany, np. w zakresie obrotu substancji lub wprowadzenia nowych wyrobów do produkcji lub importu, przedsiębiorstwo powinno wprowadzić te zmiany we wcześniejszym zgłoszeniu, aby zapewnić jego aktualność. Procedura ta ma na celu zwiększenie kontroli nad stosowaniem substancji niebezpiecznych i ograniczenie ich negatywnego wpływu na środowisko oraz zdrowie ludzi. Na przedsiębiorstwa nakłada się obowiązek przekazania tych informacji w terminie 6 miesięcy od daty dodania danej substancji do listy kandydackiej. Informacje, które nie są objęte poufnością i dotyczą substancji z listy kandydackiej zawartych w wyrobach dostępnych dla konsumentów na rynku Unii Europejskiej są udostępniane publicznie na stronie internetowej ECHA.

Obowiązek zgłoszenia nie dotyczy sytuacji, w których producent lub importer wyrobu jest w stanie całkowicie wykluczyć ryzyko narażenia zarówno ludzi, jak i środowiska na daną substancję. Dotyczy to normalnych warunków użytkowania wyrobu oraz przewidywalnych sytuacji, takich jak proces jego utylizacji. W takich przypadkach przedsiębiorstwo ma obowiązek dostarczenia odbiorcom wyrobu szczegółowych instrukcji dotyczących bezpiecznego użytkowania i postępowania z produktem. Zgłoszenie nie jest również wymagane, jeżeli substancja znajdująca się w wyrobie została wcześniej zarejestrowana w Unii Europejskiej przez producenta lub importera z przeznaczeniem do tego samego zastosowania, dla którego została użyta w danym wyrobie. W takich sytuacjach obowiązki związane z powiadamianiem ECHA nie mają zastosowania, co zmniejsza obciążenia administracyjne dla firm.

Table. Physicochemical properties of triphenyl phosphate<sup>4)</sup>Tabela. Właściwości fizykochemiczne fosforanu trifenylu<sup>4)</sup>

Nazwa parametru	Właściwości lub opis
Numer w rejestrze CAS	115-86-6
Wzór sumaryczny	C <sub>18</sub> H <sub>15</sub> O <sub>4</sub> P
Masa molowa, g/mol	326,29
Postać	ciało stałe
Kolor	bezbarny, biały
Zapach	delikatny, przypomina fenol
Gęstość (20°C), g/cm <sup>3</sup>	1,18
Temperatura topnienia, °C	50
Temperatura wrzenia (5 hPa), °C	220
Rozpuszczalność w wodzie (25°C), mg/L	1,9
Współczynnik podziału <i>n</i> -oktanol/woda (log <i>K<sub>ow</sub></i> )	4,59
Temperatura zapłonu (zamknięty tygiel), °C	220

Dostawcy wyrobów są zobowiązani do przekazywania informacji o obecności substancji z listy kandydackiej uczestnikom łańcucha dostaw, pod warunkiem spełnienia określonych kryteriów. Jeżeli substancja z listy kandydackiej występuje w wyrobie w stężeniu przekraczającym 0,1% mas., dostawca musi niezwłocznie udostępnić odbiorcom wyrobu informacje niezbędne do bezpiecznego użytkowania. Informacje te powinny zostać przekazane użytkownikom przemysłowym, zawodowym oraz dystrybutorom, lecz nie są obowiązkowe dla konsumentów. Kluczowym elementem przekazywanych danych jest nazwa substancji. Konsumenty mają prawo zażądać podobnych informacji o substancjach znajdujących się w wyrobach. W takiej sytuacji dostawca musi dostarczyć te informacje bez opłat, w terminie do 45 dni od daty otrzymania zapytania. Takie działania mają na celu zapewnienie bezpiecznego użytkowania wyrobów i zwiększenie świadomości na temat ich potencjalnego wpływu na zdrowie i środowisko.

Dostawcy substancji znajdujących się na liście kandydackiej w Unii Europejskiej i Europejskim Obszarze Gospodarczym, dostarczanych zarówno w postaci własnej, jak i w mieszaninach, mają obowiązek przekazywania swoim klientom kart charakterystyki. W przypadku wcześniej opracowanych kart charakterystyki konieczna jest ich aktualizacja. Sekcja 15 dokumentu powinna zawierać informację o zaklasyfikowaniu substancji jako stanowiącej bardzo duże zagrożenie.

W przypadku substancji sklasyfikowanych jako PBT (trwałe, zdolne do bioakumulacji i toksyczne) lub vPvB (bardzo trwałe i o bardzo dużej zdolności do bioakumu-

lacji), producenci i importerzy mają obowiązek podjąć działania minimalizujące ryzyko już od momentu umieszczenia tych substancji na liście kandydackiej. Działania te powinny opierać się na danych zawartych w Raporcie bezpieczeństwa chemicznego i koncentrować się na ograniczeniu emisji oraz narażenia zarówno ludzi, jak i środowiska w miejscach, gdzie substancje są używane. Ponadto producenci i importerzy powinni dostarczyć dalszym użytkownikom wytyczne dotyczące wdrażania podobnych środków ochronnych. Na tej podstawie użytkownicy końcowi muszą określić i zastosować odpowiednie środki bezpieczeństwa, aby skutecznie zarządzać zagrożeniami związanymi z narażeniem na tę substancję.

### Wymagania w środowisku pracy

Przedsiębiorstwa powinny przeprowadzić dokładną ocenę ryzyka związanego z przechowywaniem, stosowaniem oraz potencjalnym uwolnieniem fosforanu trifenylu do środowiska. Ważne jest, aby uwzględnić możliwe zagrożenia zarówno dla zdrowia pracowników, jak i dla lokalnych społeczności oraz ekosystemów wodnych. Ocena ryzyka powinna obejmować analizę potencjalnych skutków związanych z narażeniem pracowników na substancję, aby wprowadzić odpowiednie środki ochrony.

Biorąc pod uwagę kryteria zdrowia oraz ocenę ryzyka zdrowotnego, Zespół Ekspertów ds. Czynników Chemicznych Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy zaproponował ustalenie najwyższego dopuszczalnego stężenia (NDS) dla fosforanu trifenylu w powietrzu stanowisk pracy. Nie znaleziono wystarczających danych do wyznaczenia wartości chwilowej (NDSCh) ani dopuszczalnej w materiale biologicznym (DSB). Substancja nie spełnia również kryteriów klasyfikacji pod względem wchłaniania przez skórę<sup>3)</sup>. Przyjęto wartość NDS na poziomie 10 mg/m<sup>3</sup> i taka wartość NDS dla fosforanu trifenylu została zamieszczona w rozporządzeniu<sup>39)</sup>. Jest to wartość prawnie obowiązująca dla wszystkich gałęzi gospodarki narodowej. Stanowi podstawowe kryterium oceny narażenia i ryzyka zawodowego związanego z obecnością fosforanu trifenylu w środowisku pracy oraz określa wytyczne dla projektantów nowych i modernizowanych technologii i wyrobów. Zgodnie z wyżej przytoczonym rozporządzeniem, wartość najwyższego dopuszczalnego stężenia określonego dla fosforanu trifenylu należy stosować od dnia 5 kwietnia 2025 r.<sup>39)</sup>. Nakłada to obowiązek przeprowadzania pomiarów stężeń tej substancji w powietrzu stanowisk pracy w celu oceny narażenia. Częstotliwość wykonywania pomiarów powinna być zgodna z częstotliwością wskazaną w rozporządzeniu<sup>40)</sup>.

Obecnie nie ma Polskiej Normy na oznaczanie fosforanu trifenylu w środowisku pracy. W ramach programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, koordynowanego przez Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, został opracowa-

ny projekt normy, która w wyniku prac normalizacyjnych prowadzonych przez Komitet Techniczny nr 159 ds. Zagrożeń Chemicznych i Pyłowych w Środowisku Pracy zostanie ustanowiona przez Polski Komitet Normalizacyjny i wprowadzona do zbioru Polskich Norm z zakresu ochrony czystości powietrza. Obecnie oznaczania można przeprowadzać zgodnie z metodą analityczną opublikowaną w kwartalniku<sup>7)</sup>. Metoda ta spełnia wymagania normy<sup>41)</sup> i umożliwia oznaczanie fosforanu trifenylu w zakresie stężeń 0,1–2 wartości najwyższego dopuszczalnego stężenia zamieszczonego w rozporządzeniu<sup>39)</sup>. Metoda polega na adsorpcji par tej substancji na żywicy XAD-2 umieszczonej w rurkach szklanych w ilości 100/50 mg, desorpcji za pomocą mieszaniny dichlometan-acetonitrylu (1:1) i analizie tak otrzymanego roztworu z wykorzystaniem chromatografu gazowego sprzężonego ze spektrometrem mas (GC-MS). Metoda ta umożliwia oznaczanie fosforanu trifenylu w zakresie stężeń 10,0–200,0 µg/mL, czyli dla pobranej próbki powietrza 10 L w zakresie 1,0–20,0 mg/m<sup>3</sup>.

## Podsumowanie

Fosforan trifenylu jest szeroko stosowany w przemyśle, głównie jako antypiren lub plastyfikator. Ze względu na swoje właściwości zaburzające funkcjonowanie układu hormonalnego fosforan trifenylu został uznany za substancję stanowiącą bardzo duże zagrożenie oraz został wpisany na listę kandydacką ECHA. Fakt ten nakłada na przedsiębiorstwa pewne obowiązki wynikające z zapisów rozporządzenia REACH. Przedsiębiorstwa muszą spełniać wymagania dotyczące komunikacji w łańcuchu dostaw oraz ewentualnie podjąć działania zmierzające do eliminacji tej substancji z produkcji i użytkowania. Wprowadzenie do polskiego prawodawstwa wartości najwyższego dopuszczalnego stężenia dla fosforanu trifenylu nakłada na pracodawców obowiązek przeprowadzania pomiarów stężeń tej substancji w powietrzu stanowisk pracy w celu oceny ryzyka zawodowego. Działania te służą ochronie środowiska, poprawie bezpieczeństwa przy stosowaniu fosforanu trifenylu, zmniejszeniu ryzyka narażenia oraz zapobieganiu chorobom wywołanym przez jego szkodliwe działanie.

*Publikację opracowano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej (do 12 grudnia 2023 r. pod nazwą Ministerstwo Rodziny i Polityki Społecznej); zadanie nr 5.ZS.04 pt. „Rozbudowa i rozwój bazy wiedzy CHEMPYŁ”; koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*

Otrzymano: 17-12-2024

Zrecenzowano: 21-12-2024

Zaakceptowano: 07-01-2025

Opublikowano: 20-02-2025

## LITERATURA

- [1] <https://echa.europa.eu/pl/candidate-list-table>, dostęp 15.11.2024 r.
- [2] 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 dyrektywę Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE, *Dz.U. UE* 2006, L 396 ze zm.
- [3] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, zmieniające i uchylające dyrektywę 67/548/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1907/2006, *Dz.U. UE* 2008, L 353 ze zm.
- [4] <https://gestis-database.dguv.de/data?name=018550>, dostęp 15.11.2024 r.
- [5] C. Olisah, J.B. Adams, *Environ. Geochem. Health* 2020, **42**, 3481.
- [6] Y. Ma, W.A. Stubbings, R. Cline-Cole, S. Harrad, *Environ. Pollut.* 2021, **268**, 115727.
- [7] J. Smuga, W. Wesołowski, M. Kucharska, *PiMOŚP* 2023, **2**, 145.
- [8] A. de la Torre, I. Navarro, P. Sanz, M. de Los Angeles Martinez, *J. Hazard. Mater.* 2020, **382**, 121009.
- [9] M. Szparaga, S. Czerczak, M. Kupczewska-Dobecka, *PiMOŚP* 2023, **1**, 91.
- [10] E. Bruchajzer, B. Frydrych, J.A. Szymańska, *Med. Pr. Work Health Saf.* 2015, **66**, 235.
- [11] [www.cir-safety.org/sites/default/files/tripho062018FR.pdf](http://www.cir-safety.org/sites/default/files/tripho062018FR.pdf), dostęp 15.11.2024 r.
- [12] M. David, J. Seiber, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1999, **36**, 235.
- [13] A.R. Reers, M.L. Eng, T.D. Williams, J.E. Elliott, M.E. Cox, T.V. Beischlag, *J. Biochem. Mol. Toxicol.* 2016, **30**, 249.
- [14] Z. Hong, Y. Li, Xi. Deng, M. Chen, J. Pan, Z. Chen, X. Zhang, C. Wang, C. Qiu, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2022, **241**, 113778.
- [15] Z. Yan, X. Jin, D. Liu, Y. Hong, W. Liao, C. Feng, Y. Bai, *Chemosphere* 2021, **266**, 128989.
- [16] N.R. Maddela, K. Venkateswarlu, M. Megharaj, *Environ. Sci. Process. Impacts* 2020, **22**, 1809.
- [17] X. Liu, E. Folk 4<sup>th</sup>, *Chemosphere* 2021, **278**, 130415.
- [18] Z. Chupeau, N. Bonvallot, F. Mercier, B. Le Bot, C. Chevrier, P. Glorennec, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, **17**, 6713.
- [19] Z. Yan, C. Feng, K.M.Y. Leung, Y. Luo, J. Wang, X. Jin, F. Wu, *J. Hazard. Mater.* 2023, **445**, 130517.
- [20] A.M. Saillenfait, S. Ndaw, A. Robert, J.P. Sabat ´e, *Arch. Toxicol.* 2018, **92**, 2749.
- [21] M. Hou, Y. Shi, G. Na, Y. Cai, *Environ. Int.* 2021, **146**, 106261.
- [22] L. Xiaoshan, K. Ji, K. Choi, *Aquat. Toxicol.* 2012, **114**, 173.
- [23] H. Kojima, S. Takeuchi, N. Van den Eede, A. Covaci, *Toxicol. Lett.* 2016, **245**, 31.
- [24] X. Ji, N. Li, M. Ma, K. Rao, Z. Wang, *Sci. Total Environ.* 2020, **727**, 138484.
- [25] Q. Zhang, L. Meiya, X. Dong, C. Wang, C. Zhang, W. Liu, M. Zhao, *Environ. Sci. Tech.* 2014, **48**, 6995.
- [26] B.V. Krivoshiev, F. Dardennea, A. Covacic, R. Blusta, S.J. Hussona, *Toxicol. In Vitro* 2016, **33**, 153.
- [27] X. Liu, J. Dawoon, J. Areum, J. Kyunghye, M. Hyo-Bang, C. Kyungho, *Environ. Toxicol. Chem.* 2016, **35**, 2288.
- [28] X. Liu, J. Kyunghye, J. Areum, M. Hyo-Bang, C. Kyungho, *Aquat. Toxicol.* 2013, **134**, 104.
- [29] J. He, X. Yang, H. Liu, *Sci. Total Environ.* 2021, **756**, 143986.
- [30] Y. Kawashima, Y. Onishi, N. Tatarazako, H. Yamamoto, M. Koshio, T. Oka, Y. Horie, H. Watanabe, T. Nakamoto, J. Yamamoto, H. Ishikawa, T. Satō, K. Yamazaki, T. Iguchi, *J. Appl. Toxicol.* 2021, **42**, 750.
- [31] Y. Li, C. Wang, F. Zhao, S. Zhang, R. Chen, J. Hu, *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2018, **5**, 649.
- [32] R. Guan, N. Li, W. Wang, W. Liu, X. Li, C. Zhao, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2022, **234**, 113387.
- [33] X. Ji, N. Li, M. Ma, X. Li, K. Zhu, K. Rao, Z. Wang, J. Wang, Y. Fang, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2022, **229**, 113069.
- [34] C. Wang, H. Chen, H. Li, J. Yu, X. Wang, Y. Liu, *Environ. Int.* 2020, **143**, 105946.
- [35] J. Yue, X. Sun, X. Duan, C. Sun, H. Chen, H. Sun, L. Zhang, *Environ. Int.* 2023, **172**, 107749.
- [36] M. Wang, J. Xu, Z. Zhao, L. Gong, Y. Su, Z. Fang, P. Chen, Y. Liu, L. Zhang, F. Xu, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2023, **256**, 114876.
- [37] Z. Hong, Y. Li, X. Deng, M. Chen, J. Pan, Z. Chen, X. Zhang, C. Wang, C. Qiu, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2022, **241**, 113778.
- [38] W. Zhang, G. Song, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2022, **248**, 114346.
- [39] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 24 czerwca 2024 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, *Dz.U.* 2024, poz. 1017.
- [40] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 lipca 2024 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, *Dz.U.* 2024, poz. 1110.
- [41] PN-EN 482+A1:2016-01, *Narażenie na stanowiskach pracy. Wymagania ogólne dotyczące charakterystyki procedur pomiarów czynników chemicznych.*