

# SZKODLIWE CZYNNIKI BIOLOGICZNE W ZAKŁADACH TERMICZNEGO UNIESZKODLIWIANIA ODPADÓW KOMUNALNYCH

HARMFUL BIOLOGICAL AGENTS  
IN MUNICIPAL WASTE THERMAL TREATMENT PLANTS

Marcin Cyprowski

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy / Central Institute for Labor Protection – National Research Institute, Warsaw, Poland  
Zakład Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych, Pracownia Zagrożeń Biologicznych / Department of Chemical, Biological and Aerosol Hazards, Laboratory of Biohazards

## STRESZCZENIE

Składowanie odpadów komunalnych w specjalnie wyznaczonych do tego miejscach przez wiele lat stanowiło podstawową metodę ich zagospodarowania – obecnie preferowana jest utylizacja termiczna. Ocena warunków pracy w spalarniach odpadów komunalnych jest utrudniona z powodu zmienności i złożoności zanieczyszczeń emitowanych w wyniku spalania. Autorzy prac opisujących ten problem przez wiele lat koncentrowali się przede wszystkim na zanieczyszczeniach chemicznych wewnątrz badanych zakładów oraz zanieczyszczeniach emitowanych do powietrza atmosferycznego. Oszacowano, że stężenie pyłu organicznego na stanowiskach pracy wynosiło 0,1–14 mg/m<sup>3</sup>. Udowodniono, że pył ten jest nośnikiem wielu różnych drobnoustrojów, w tym bakterii, grzybów oraz promieniowców mezofilnych i termofilnych, a także adenowirusów i wirusa *torque teno*. W strefie oddychania pracowników na stanowiskach pracy stwierdzono także obecność endotoksyn bakteryjnych w stężeniu nawet 50 000 EU/m<sup>3</sup>, które mogą istotnie wpływać na występowanie reakcji prozapalnych w płucach oraz toksycznego zapalenia płuc. Czynniki biologiczne powinny być uwzględniane w ocenie ryzyka zawodowego jako czynniki szkodliwe występujące w tym środowisku, a szczególnie scharakteryzowanie narażenia oraz skutków zdrowotnych wynikających z kontaktu z nimi powinno być kontynuowane w jeszcze szerszym niż dotychczas zakresie. Med. Pr. 2019;70(1):99–105

**Słowa kluczowe:** narażenie zawodowe, odpady komunalne, spalarnie odpadów, pył organiczny, bakterie przenoszone drogą powietrzną, grzyby przenoszone drogą powietrzną

## ABSTRACT

Solid waste storage in specially designated areas – landfills – has been the basic method of municipal solid waste disposal management for many years. However, thermal treatment is the currently preferred method of solid waste disposal. Hygienic assessment of working conditions in municipal waste incineration plants is hindered due to the variability and complexity of pollutants emitted during the combustion process. For many years studies describing this problem have focused mainly on chemical pollution inside the plants as well as emitted into the atmosphere. Available data indicates the presence of organic dust at workplaces in the range 0.1–14 mg/m<sup>3</sup>. It has been proven that it is a carrier of a wide spectrum of microorganisms, including bacteria, fungi and both mesophilic and thermophilic actinomycetes as well as adenoviruses and *torque teno virus* (TTV). In the air, at workplaces, bacterial endotoxins have also been found in concentrations reaching even 50 000 EU/m<sup>3</sup>, which may significantly affect the occurrence of pro-inflammatory reactions in the lungs as well as toxic pneumonitis. Biological agents should be taken into account in the occupational risk assessment for harmful agents present in this environment, and an in-depth characterization of exposure and health effects resulting from contact with these agents should be continued to an even greater extent than before. Med Pr. 2019;70(1):99–105

**Key words:** occupational exposure, municipal waste, waste incinerations, organic dust, airborne bacteria, airborne fungi

Autor do korespondencji / Corresponding author: Marcin Cyprowski, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych, Pracownia Zagrożeń Biologicznych, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: macyp@ciop.pl  
Nadesłano: 1 lutego 2018, zatwierdzono: 3 sierpnia 2018

## WSTĘP

Europejska Agencja Środowiska (European Environment Agency – EEA) przewiduje, że do 2020 r. ilość odpadów komunalnych w krajach Unii Europejskiej (UE) wzrośnie o 25% [1]. Szacuje się, że wzrost ten będzie większy w państwach niedawno przyjętych do UE (do których zalicza się również Polska), przede wszystkim ze względu na ich rozwój gospodarczy i zmiany w modelu konsumpcji [1].

W 2012 r. w Polsce wyprodukowano ponad 12 mln ton odpadów komunalnych – oznacza to, że przeciętny mieszkaniec wytworzył ich ok. 320 kg [2]. Tylko 1% odpadów przekazano do spalania (UE – 21%), 73% trafiło bezpośrednio na składowiska (UE – 38%), ok. 14% było odzyskiwanych do ponownego wykorzystania (UE – 24%), a 7% poddawano kompostowaniu (UE – 14%) [3].

Artykuł 17 znowelizowanej Ustawy o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. [4] wprowadził następującą hierarchię sposobów postępowania z odpadami:

- zapobieganie powstawaniu odpadów,
- przygotowanie ich do powtórnego użycia,
- recykling,
- inne procesy odzysku,
- unieszkodliwianie.

Dlatego w ostatnich latach w Polsce powstaje coraz więcej sortowni odpadów komunalnych oraz przedsiębiorstw zajmujących się odzyskiwaniem surowców z materiałów segregowanych.

Zmieniają się także sposoby utylizacji odpadów komunalnych. Dotychczas podstawową metodą zagospodarowania było składowanie w specjalnie wyznaczonych miejscach. Zgodnie z zapisami Krajowego planu gospodarki odpadami 2022 z 2016 r. [5] preferowaną metodą zagospodarowania zmieszanych odpadów komunalnych jest ich termiczne przekształcanie. Przez wiele lat jedyną instalacją służącą temu była spalarnia w Warszawie, która mogła poddać spalaniu ok. 65 tys. ton odpadów w ciągu roku. Wytyczne programu, przy znacznym wsparciu funduszy unijnych, wpłynęły na rozpoczęcie budowy w kilku miastach Polski instalacji termicznego unieszkodliwiania odpadów komunalnych. Uruchomiono spalarnie w Krakowie (220 tys. ton/rok), Poznaniu (210 tys. ton/rok), Bydgoszczy (180 tys. ton/rok), Szczecinie (150 tys. ton/rok), Białymstoku (120 tys. ton/rok) oraz Koninie (94 tys. ton/rok), a w fazie rozruchu jest spalarnia w Rzeszowie (100 tys. ton/rok).

Budowanie nowych instalacji tego typu przekłada się także na tworzenie nowych stanowisk dla ludzi pra-

cujących przy procesie termicznej utylizacji odpadów. Dlatego konieczne jest przeprowadzenie kompleksowej oceny ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na czynniki szkodliwe występujące w tym środowisku, w tym szczegółowe scharakteryzowanie narażenia oraz skutków zdrowotnych wynikających z kontaktu ze szkodliwymi czynnikami biologicznymi (SCB). W rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 2005 r. [6] prace w zakładach gospodarki odpadami zostały wskazane wprost jako narażające pracowników na działanie SCB, dlatego powinny zostać uwzględnione w takiej ocenie. Obecną wiedzę na temat narażenia na SCB w spalarniach odpadów komunalnych należy uznać za ograniczoną i fragmentaryczną.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie czytelnikom informacji na temat SCB w spalarniach odpadów komunalnych, m.in. na temat charakterystyki zidentyfikowanych zagrożeń i skutków ich oddziaływania na zdrowie zatrudnionych pracowników.

## METODY PRZEGLĄDU

Przeglądu literatury dokonano na podstawie bibliograficzno-abstraktowych baz recenzowanych czasopism z dziedziny medycyny, biologii oraz nauk pokrewnych – PubMed, ScienceDirect, ResearchGate i Google Scholar. Bazy przeszukiwano, podając następujące słowa kluczowe i ich połączenia: *waste incineration* (spalarnia odpadów), *organic dust* (pył organiczny), *bacteria* (bakterie), *fungi* (grzyby), *bioaerosols* (bioaerozole), *workers* (pracownicy), *occupational exposure* (narażenie zawodowe), *health effects* (skutki zdrowotne) i *morbidity* (zachorowalność).

Wykorzystano również akty prawne oraz dokumenty dostępne na stronach internetowych instytucji zajmujących się badaniem czystości środowiska oraz higienicznych warunków pracy (m.in. EEA, Institute of Occupational Medicine – IOM, National Institute for Occupational Safety and Health – NIOSH). Praca obejmuje artykuły w języku polskim i angielskim opublikowane w latach 1980–2017.

## WYNIKI PRZEGLĄDU

### Spalanie jako metoda utylizacji odpadów

O jakości procesu spalania odpadów decydują 3 podstawowe czynniki: zawartość wilgoci (< 50%), zawartość części palnych (> 25%) oraz zawartość części niepalnych (< 60%). Jeśli wartości są takie jak wskazano wyżej, termiczne przekształcanie odpadów stanowi bar-

dzo efektywny sposób utylizacji, ponieważ przyczynia się do redukcji masy odpadów o ok. 65%. Produkowane są energia cieplna oraz elektryczna, które mogą być wykorzystywane przez osoby mieszkające w okolicy spalarni. Odzyskuje się także wodę technologiczną, można wykryć nietypowe odpady (np. radioaktywne), a emisja odorów jest ograniczana, ponieważ dzięki odpowiedniej instalacji wentylacyjnej są one zawracane do kotła [7].

Różnorodność odpadów wymusiła opracowanie różnych technologii, dzięki którym możliwa będzie ich skuteczna utylizacja. W przypadku odpadów komunalnych optymalne wydają się kotły z paleniskiem rusztowym. Mogą być stosowane także kotły fluidalne, piece obrotowe oraz kotły pirolityczne [8,9]. Działające w Polsce obiekty wykorzystują technologię palenisk rusztowych, którą cechuje niezawodność, szeroki zakres temperatur do zastosowania w palenisku, i – co się z tym wiąże – możliwość spalania odpadów o zmiennym składzie [5].

Na rycinie 1 przedstawiono schemat typowej spalarni odpadów komunalnych. Widać na nim, że takie zakłady to zaawansowane technologicznie instalacje, które wymagają ciągłego nadzoru, by cały proces przebiegał płynnie. Ocenia się, że zakład o przepustowości ok. 150 tys. ton odpadów/rok zatrudnia ok. 50 osób, co sprawia, że w Polsce tę grupę zawodową można oszacować na kilkaset osób. W następnych latach liczba ta może znacznie się zwiększyć.

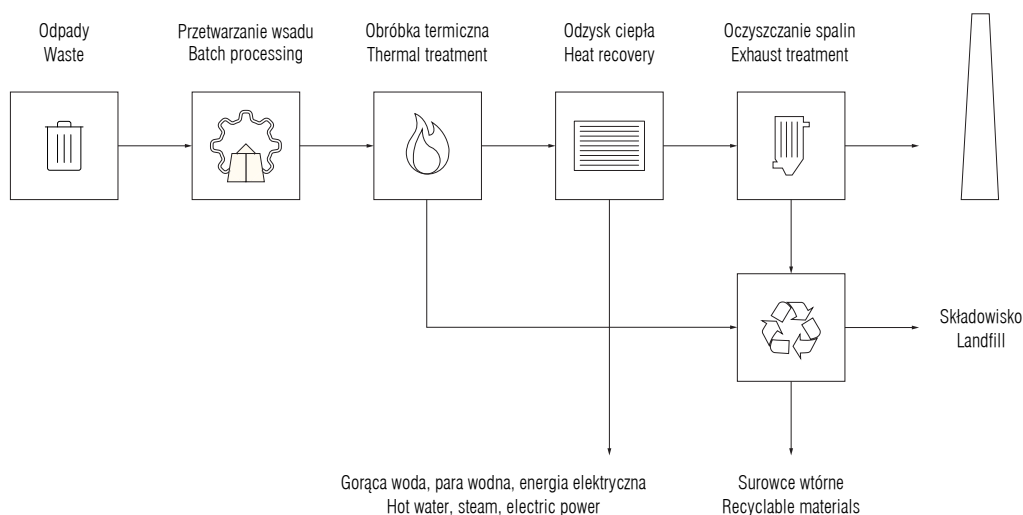
### Spalarnie źródłem zagrożeń dla zdrowia

Higieniczna ocena warunków pracy w spalarniach odpadów komunalnych jest utrudniona z powodu zmienności i złożoności zanieczyszczeń emitowanych podczas procesu spalania. Prace opisujące ten problem koncentrowały się przede wszystkim na zanieczyszczeniach chemicznych wewnątrz badanych zakładów oraz zanieczyszczeniach emitowanych do powietrza atmosferycznego.

W powietrzu wykazano obecność tlenku węgla, tlenków azotu i siarki, wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych, dioksyn, dibenzofuranów oraz aldehydów [10–15]. W popiołach ze spalonych odpadów stwierdzono obecność metali ciężkich, takich jak: ołów, chrom, mangan, rtęć, arsen, kadm, miedź i nikiel [10,16]. Badania potwierdziły, że występujące substancje chemiczne mogą być przyczyną chorób układów oddechowego, krążenia i rozrodczego, zaburzeń hormonalnych, a także zgonów wśród pracowników spalarni oraz okolicznej ludności [17–20].

### Pył organiczny w spalarniach odpadów

Kluczowym problemem, podobnie jak w przypadku innych rodzajów zakładów zajmujących się utylizacją odpadów komunalnych, jest obecność pyłu organicznego, będącego nośnikiem czynników biologicznych. Jak podaje raport IOM [21], w środowisku spalarni może występować mieszanina pyłów różnego pochodzenia, w których obecne są komponenty organiczne. Sprzyja



Opracowanie własne na podstawie / Own adaptation based on: Kordylewski W. [red.]: Odpady i ich spalanie. W: Spalanie i paliwa, s. 357 [7].

**Rycina 1.** Uproszczony schemat typowej spalarni odpadów komunalnych  
**Figure 1.** Simplified diagram of a typical municipal waste incineration plant

to wzrostowi bakterii i grzybów, które w formie bioaerozoli są emitowane na stanowiskach pracy. Autorzy raportu oceniają, że poziom zapylenia jest w znacznym stopniu uzależniony od zautomatyzowania procesu termicznej utylizacji odpadów. W zakładach mniej zaawansowanych technologicznie oraz w zamkniętych przestrzeniach stężenie pyłu może się zwiększać. Jedne z pierwszych badań dotyczących zapylenia w spalarniach odpadów wykazały (przy zastosowaniu dozymetrii indywidualnej) średnie stężenie pyłu całkowitego w wysokości  $0,5 \text{ mg/m}^3$  [22].

W badaniach fińskich [23] wykazano, że średnie stężenie pyłu organicznego wahało się w zakresie  $0,2\text{--}3,3 \text{ mg/m}^3$  – najwyższe występowało w okolicy bunkra, do którego są przywożone świeże odpady (maks.  $13,7 \text{ mg/m}^3$ ). Stosunkowo wysokie stężenie obserwowano także w pomieszczeniu, w którym przebywa obsługa chwyta-ka odpadów (maks.  $1,3 \text{ mg/m}^3$ ).

W włoskich spalarniach odpadów komunalnych [24] sprawdzono stężenie pyłu we frakcji wdychalnej i respirabilnej. Pomiarzy stacjonarne wykazały, że najwyższe stężenie frakcji wdychalnej pyłu występowało w pobliżu silosu popiołów ( $5 \text{ mg/m}^3$ ), natomiast przy bunkrze z dowożonymi odpadami średnie stężenie wyniosło  $1,12 \text{ mg/m}^3$ . W pozostałych punktach badanych zakładów stężenie nie przekraczało  $0,1 \text{ mg/m}^3$ . Najwyższe stężenie frakcji respirabilnej pyłu ( $0,25 \text{ mg/m}^3$ ) obserwowano w silosie popiołów, a najniższe – w pobliżu kotła ( $0,05 \text{ mg/m}^3$ ). Wyniki pomiarów indywidualnych w przypadku najwyższych stężeń najczęściej pokrywały się z wynikami pomiarów stacjonarnych. Prace przy obsłudze instalacji zrzutu popiołów wiązały się z narażeniem na najwyższe stężenia w obu frakcjach pyłu: w przypadku frakcji wdychalnej –  $2,44 \text{ mg/m}^3$ , a frakcji respirabilnej –  $0,3 \text{ mg/m}^3$ . Najniższe stężenie wykazano w strefie oddychania operatorów wagi (pył wdychalny –  $0,02 \text{ mg/m}^3$ ) oraz pracowników administracyjnych (pył respirabilny –  $0,04 \text{ mg/m}^3$ ). Dominacja wdychalnej frakcji pyłu została potwierdzona także w badaniach portugalskich [25].

### Czynniki biologiczne na stanowiskach pracy

Pierwsze informacje na temat czynników biologicznych na stanowiskach pracy w spalarniach odpadów pochodzą z początku lat 80. XX wieku: w USA przeprowadzono pomiary, w których wykazano średnie stężenie bakterii  $10^5\text{--}10^6 \text{ jtk/m}^3$  i pałeczek jelitowych –  $10^2\text{--}10^3 \text{ jtk/m}^3$  [26]. Prawie 20 lat później w 2 zakładach przeprowadzono badania z zastosowaniem dozymetrii indywidualnej, które wykazały średnie stężenie bioaerozolu całkowitego (ży-

wego i martwego) w wysokości  $6,8 \times 10^6 \text{ organizmów/m}^3$ , a endotoksyn bakteryjnych –  $29 \text{ EU/m}^3$  [22]. W zakładzie na Tajwanie średnie stężenie bakterii wyniosło  $2,2 \times 10^3 \text{ jtk/m}^3$  [27], a w spalarni odpadów komunalnych w Korei Południowej –  $6 \times 10^2 \text{ jtk/m}^3$  [28].

Wspomiane wcześniej badania przeprowadzone w spalarniach odpadów w Finlandii [23] wykazały występowanie na stanowiskach pracy, poza pyłem organicznym, wielu różnych drobnoustrojów, w tym bakterii, grzybów i promieniowców (zarówno mezofilnych, jak i termofilnych). Stężenie większości grup drobnoustrojów było najczęściej podobne do poziomemu zapylenia. Najwyższe stężenia wszystkich wymienionych grup obserwowano w pobliżu bunkra przywożonych odpadów (grzyby mezofilne  $> 2,2 \times 10^5 \text{ jtk/m}^3$ , grzyby termofilne –  $2,9 \times 10^5 \text{ jtk/m}^3$ , bakterie mezofilne –  $6,2 \times 10^4 \text{ jtk/m}^3$ , bakterie termofilne –  $4,1 \times 10^3 \text{ jtk/m}^3$ , promieniowce mezofilne –  $2,5 \times 10^4 \text{ jtk/m}^3$ , promieniowce termofilne –  $5,1 \times 10^3 \text{ jtk/m}^3$ ). Autorzy stwierdzili ponadto, że w powietrzu dominowały pleśnie z rodzaju *Penicillium* oraz gatunek o właściwościach chorobotwórczych *Aspergillus fumigatus*. Na badanych stanowiskach pracy stwierdzono także obecność w powietrzu endotoksyn bakteryjnych ( $2\text{--}50\,000 \text{ EU/m}^3$ ). Podobnie jak w przypadku pyłu organicznego i drobnoustrojów, najbardziej zanieczyszczonymi miejscami w spalarni odpadów były bunkier oraz miejsce składowania żużla.

O występowaniu bakterii termofilnych w spalarniach odpadów wspominają także Jager i Eckrich [29]. Najwyższe stężenie termofilnych promieniowców to prawie  $10^4 \text{ jtk/m}^3$  – było ono porównywalne ze stężeniami promieniowców mezofilnych, enterokoków i pleśni z gatunków *Aspergillus fumigatus* i *Aspergillus niger*. Badacze wykazali także, że w spalarni odpadów maksymalne stężenie ogólnej liczby żywych bakterii mogło sięgać  $2 \times 10^5 \text{ jtk/m}^3$ , a stężenie pałeczek okrężnicy było o 3 rzędy wielkości niższe –  $6 \times 10^2 \text{ jtk/m}^3$ .

Dużo niższe zanieczyszczenie mikrobiologiczne stwierdzono w spalarniach odpadów we Włoszech [24]. Stężenie bakterii nie przekraczało  $10^3 \text{ jtk/m}^3$  i – podobnie jak w badaniach fińskich – było najwyższe w pobliżu bunkra ( $10^2\text{--}10^3 \text{ jtk/m}^3$ ), a najniższe w pomieszczeniach administracyjnych ( $10^0\text{--}10^1 \text{ jtk/m}^3$ ). Badanie to wykazało obecność bakterii psychrofilnych, mezofilnych oraz termofilnych, w tym potencjalnie chorobotwórczych, takich jak *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae* czy *Pseudomonas aeruginosa*. W powietrzu licznie występowały gronkowce oraz enterokoki, co świadczyło o fekalnym skażeniu dostarczanych odpadów. Wśród grzybów dominowały pleśnie

z rodzajów *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Penicillium* i *Cladosporium*.

Obecność grzybów zarówno w powietrzu, jak i w pylenie osiadłym potwierdziło także badanie przeprowadzone w spalarniach portugalskich [25]. W obu rodzajach próbek dominowały pleśnie z rodzaju *Penicillium*, które stanowiły ok. 60% wszystkich oznaczonych grzybów. W środowisku spalarni stwierdzono także gatunki *Aspergillus fumigatus*, *A. niger*, *A. flavus* oraz *A. versicolor*, które są silnie zakaźne i toksyczne. Zidentyfikowano także pleśnie z rodzajów *Aureobasidium*, *Chrysonilia* oraz *Chrysosporium*.

W najnowszym badaniu przeprowadzonym w Portugalii [30] wykazano, że pracownicy spalarni odpadów są narażeni także na kontakt z aflatoksyną B<sub>1</sub>. Nie wykazano jej obecności bezpośrednio w próbkach pobranych na stanowiskach pracy, ale była obecna w próbkach krwi 41 pracowników zajmujących się zagospodarowaniem odpadów komunalnych (sortowni, kompostowni oraz spalarni). Średnie stężenie (Me) tej mykotoksyny we krwi pracowników spalarni wyniosło 9,24 ng/ml i nie różniło się statystycznie od stężeń zaobserwowanych w pozostałych 2 typach zakładów.

Jak wykazano w jednym z ostatnich badań [31], odpady komunalne, które poddawane są termicznemu unieszkodliwianiu, mogą być także źródłem wirusów. Carducci i wsp. w próbkach pobranych z powierzchni w dyspozytorni stwierdzili obecność adenowirusów (209 kopii wirusa/100 cm<sup>2</sup>) oraz wirusa *torque teno virus* (TTV) (398 kopii wirusa/100 cm<sup>2</sup>). Co prawda nie stwierdzono obecności wirusów bezpośrednio w powietrzu, jednak uzyskane wyniki wskazują, że lista zagrożeń dotyczących pracowników spalarni jest otwarta i konieczne są dalsze badania, które pozwolą właściwie je określić.

### Oddziaływanie na zdrowie pracowników

Narażenie na szkodliwe czynniki biologiczne może wiązać się z występowaniem u pracowników spalarni odpadów dolegliwości związanych z infekcjami układu oddechowego i pokarmowego. Jeśli w środowisku pracy występują promieniotwórcy (szczególnie termofilne), wzrasta prawdopodobieństwo wystąpienia zewnątrz-pochodnego alergicznego zapalenia pęcherzyków płucnych, które może skutkować trwałym uszkodzeniem miąższu płucnego. W przypadku narażenia na grzyby u pracowników spalarni mogą występować reakcje alergiczne oraz reakcje z podrażnienia w układzie oddechowym (nieżyt błony śluzowej nosa, gardła, a także spojówek) [21].

W badaniu francuskim [32] u 102 pracowników spalarni odpadów komunalnych wykazano, częściej niż w grupie kontrolnej składającej się z 94 pracowników innych branż, występowanie chorób skóry (OR = 4,85, 95% CI: 2,04–11,51) oraz kaszlu (OR = 6,58, 95% CI: 2,18–19,85), a także obniżenie parametrów spirometrycznych [przede wszystkim natężonej pierwszosekundowej objętości wydechowej (FEV<sub>1</sub>)]. Inni badacze francuscy [33] wykazali, że po 2 latach pracy u zatrudnionych w spalarni odpadów pojawiły się obturacyjne zmiany w drobnych drogach oddechowych, których objawem był spadek wartości parametrów natężonego przepływu wydechowego (FEF) odpowiednio: 50% (FEF<sub>50</sub>), 75% (FEF<sub>75</sub>) oraz uśrednionej wartości pomiędzy 25% a 75% (FEF<sub>25-75</sub>) natężonej pojemności życiowej (FVC). Autorzy badania uznali, że za te wyniki w znacznym stopniu może odpowiadać endotoksyna bakteryjna. Opisane wysokie stężenia endotoksyn mogą powodować u narażonych pracowników zespół toksyczny wywołany pyłem organicznym (*organic dust toxic syndrome* – ODS).

Dobrym wskaźnikiem ekspozycji na pył organiczny zawierający endotoksynę bakteryjną może być wzrost stężenia cytokiny prozapalnej – interleukiny 8 (IL-8) w wydzielinach układu oddechowego. Jak udowodnili w badaniu laboratoryjnym Allermann i wsp. [34], używane w spalarniach odpady zmieszane mają większy potencjał oddziaływania immunologicznego niż odpady posegregowane.

### WNIOSKI

Wiedza na temat wpływu zawodowego narażenia na czynniki biologiczne w spalarniach odpadów na zdrowie pracowników nie jest wystarczająca. Ostatnie doniesienia wskazują, że dzięki nowoczesnym technikom analitycznym można zidentyfikować zagrożenia wcześniej nierozpoznane, takie jak wirusy czy toksyny pochodzenia mikrobiologicznego. W przyszłości badania powinny dotyczyć także bakterii beztlenowych, mogących stanowić – podczas prac związanych z zagospodarowaniem odpadów komunalnych – istotny składnik bioaerozolu [35].

W przeglądzie piśmiennictwa wykazano, że należy uwzględniać czynniki biologiczne w ocenie ryzyka zawodowego narażenia na czynniki szkodliwe występujące w środowisku pracy. Jednak informacje o kolejnych zagrożeniach sprawiają, że konieczne jest także zbadanie wynikających z kontaktu z nimi skutków zdrowotnych, szczególnie jeśli chodzi o reakcje układu immunologicznego osób narażonych.

## PIŚMIENNICTWO

1. European Environment Agency [Internet]. Better management of municipal waste will reduce GHG emissions. Agency, 2008 [cytowany 13 listopada 2018]. Adres: [https://www.eea.europa.eu/publications/briefing\\_2008\\_1](https://www.eea.europa.eu/publications/briefing_2008_1)
2. Główny Urząd Statystyczny: Ochrona środowiska 2013. Urząd, Warszawa 2013
3. Styś T., Foks R.: Rynek gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce. Perspektywa 2030. Instytut Sobieskiego, Warszawa 2014
4. Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. DzU z 2013 r., poz. 21
5. Uchwała nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2022. MP z 2016 r., poz. 784
6. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki. DzU z 2005 r. nr 81, poz. 716, z późn. zm.
7. Kordylewski W. [red.]: Odpady i ich spalanie. W: Spalanie i paliwa. Politechnika Wrocławska, Wrocław 2005, ss. 334–376
8. Wielgościński G.: Przegląd technologii termicznego przekształcania odpadów. *Nowa Energia* 2011;1:55–67
9. Wielgościński G.: Wybór technologii termicznego przekształcania odpadów komunalnych. *Nowa Energia* 2012; 1:66–79
10. Boudet C., Zmirou D., Laffond M., Balducci F., Benoit-Guyod J.L.: Health risk assessment of a modern municipal waste incinerator. *Risk. Anal.* 1999;19(6):1215–1222, <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1999.tb01140.x>
11. Gochfeld M.: Incineration: Health and environmental consequences. *Mt. Sinai. J. Med.* 1995;62:365–374
12. Huff J.E., Moore J.A., Saracci R., Tomatis L.: Long-term hazards of polychlorinated dibenzodioxins and polychlorinated dibenzofurans. *Environ. Health Perspect.* 1980;36:221–240, <https://doi.org/10.1289/ehp.8036221>
13. Lisk D.J.: Environmental implications of incineration of municipal solid waste and ash disposal. *Sci. Total Environ.* 1988; 74(1):39–66, [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(88\)90128-3](https://doi.org/10.1016/0048-9697(88)90128-3)
14. Oppelt E.T.: Air emissions from the incineration of hazardous waste. *Toxicol. Ind. Health* 1990;6:23–51
15. Shy C.M., Degnan D., Fox D.L., Mukerjee S., Hazucha M.J., Boehlecke B.A. i wsp.: Do waste incinerators induce adverse respiratory effects? An air quality and epidemiological study of six communities. *Environ. Health Perspect.* 1995;103:714–724, <https://doi.org/10.1289/ehp.95103714>
16. Maître A., Collot-Fertey D., Anzivino L., Marques M., Hours M., Stoklov M.: Municipal waste incinerators: Air and biological monitoring of workers for exposure to particles, metals, and organic compounds. *Occup. Environ. Med.* 2003;60:563–569, <https://doi.org/10.1136/oem.60.8.563>
17. Boswell R.T., McCunney R.J.: Bronchiolitis obliterans from exposure to incinerator fly ash. *J. Occup. Environ. Med.* 1995;37:850–855, <https://doi.org/10.1097/00043764-199507000-00015>
18. Bresnitz E.A., Roseman J., Becker D., Gracely E.: Morbidity among municipal waste incinerator workers. *Am. J. Ind. Med.* 1992;22:363–378, <https://doi.org/10.1002/ajim.4700220309>
19. Elliott P., Shoddick G., Kleinschmidt I., Jolley D., Walls P., Beresford J. i wsp.: Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain. *Br. J. Cancer* 1996; 73:702–710, <https://doi.org/10.1038/bjc.1996.122>
20. Rapiti E., Sperati A., Fano V., Dell'Orco V., Forastiere F.: Mortality among workers at municipal waste incinerators in Rome: A retrospective cohort study. *Am. J. Ind. Med.* 1997;31:659–661, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0274\(199705\)31:5<659::AID-AJIM23>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0274(199705)31:5<659::AID-AJIM23>3.0.CO;2-X)
21. Searl A., Crawford J.: Review of health risks for workers in the waste and recycling industry. Institute of Occupational Medicine, London 2012
22. Mahar S., Reynolds S.J., Thorne P.S.: Worker exposures to particulates, endotoxins, and bioaerosols in two refuse-derived fuel plants. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1999;60:679–683, <https://doi.org/10.1080/00028899908984491>
23. Tolvanen O.K., Hänninen K.I.: Occupational hygiene in a waste incineration plant. *Waste Manag.* 2005;25:519–529, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.01.010>
24. Sabatini L., Pianetti A., Cecchetti G., Bruner A., Citterio B., Barbieri F. i wsp.: Chemical and microbiological monitoring of air in two waste incineration plants. *Ig. Sanita. Pubbl.* 2013;69:13–37
25. Viegas C., Gomes A.Q., Abegão J., Sabino R., Graça T., Viegas S.: Assessment of fungal contamination in waste sorting and incineration—case study in Portugal. *J. Toxicol. Environ. Health A* 2014;77:57–68, <https://doi.org/10.1080/15287394.2014.865583>
26. Mansdorf S.Z., Golembiewski M.A., Fletcher M.W.: Industrial hygiene characterization and aerobiology of resource recovery systems, final report. National Institute for Occupational Safety and Health, Morgantown, 1982
27. Wang C.C., Fang G.C., Lee L.: Bioaerosols study in central Taiwan during summer season. *Toxicol. Ind. Health.* 2007; 23:133–139, <https://doi.org/10.1177/0748233707078741>
28. Heo Y., Park J., Lim S.I., Hur H.G., Kim D., Park K.: Size-resolved culturable airborne bacteria sampled in rice field, sanitary landfill, and waste incineration sites. *J. Environ. Monit.* 2010;12:1619–1624, <https://doi.org/10.1039/c0em00004c>

29. Jager E., Eckrich C.: Hygienic aspects of biowaste composting. *Ann. Agric. Environ. Med.* 1997;4:99–105
30. Viegas S., Veiga L., Figueiredo P., Almeida A., Carolino E., Viegas C.: Assessment of workers' exposure to aflatoxin B1 in a Portuguese waste industry. *Ann. Occup. Hyg.* 2015; 59:173–181
31. Carducci A., Federigi I., Verani M.: Virus occupational exposure in solid waste processing facilities. *Ann. Occup. Hyg.* 2013;57:1115–1127
32. Hours M., Anzivino-Viricel L., Maitre A., Perdrix A., Perrodin Y., Charbotel B. i wsp.: Morbidity among municipal waste incinerator workers: A cross-sectional study. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 2003;76:467–472, <https://doi.org/10.1007/s00420-003-0430-0>
33. Charbotel B., Hours M., Perdrix A., Anzivino-Viricel L., Bergeret A.: Respiratory function among waste incinerator workers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 2005;78:65–70, <https://doi.org/10.1007/s00420-004-0557-7>
34. Allermann L., Poulsen O.M.: Inflammatory potential of dust from waste handling facilities measured as IL-8 secretion from lung epithelial cells in vitro. *Ann. Occup. Hyg.* 2000; 44:259–269, [https://doi.org/10.1016/S0003-4878\(99\)00100-3](https://doi.org/10.1016/S0003-4878(99)00100-3)
35. Cyprowski M., Stobnicka A., Górny R.L., Gołofit-Szymczak M., Ławniczek-Wałczyk A.: Aerozole pochodzenia bakteryjnego w pomieszczeniach roboczych zakładu gospodarki odpadami. *Rocz. Ochr. Środ.* 2016;18:294–308