

ROBERT SUSŁO

ORCID: 0000-0002-2680-7617

Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu

MATEUSZ PAPLICKI

ORCID: 0000-0002-4169-9298

Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu

KAROL DOPIERAŁA

Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu

JANUSZ WRZESIŃSKI

ORCID: 0000-0002-7804-0243

Komenda Wojewódzka Państwowej Straży Pożarnej we Wrocławiu

JAROSŁAW DROBNIK

ORCID: 0000-0001-5472-1485

Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu

Pożary odpadów a narażenie strażaków na substancje toksyczne

Wstęp

Na zagrożenia związane z pożarem składają się: ekspozycja na tlenek węgla, liczne substancje organiczne o działaniu drażniącym lub toksycznym obecne w dymie, ograniczony dostęp tlenu oraz, naturalnie, wysoka temperatura i płomienie¹. Nie powinno stanowić zaskoczenia stwierdzenie, że występujące podczas pożarów stę-

¹ Y. Alarie, *Toxicity of fire smoke*, „Crit Rev Toxicol.” 2002, 32(4) s. 259–289. DOI: <https://dx.doi.org/10.1080/20024091064246> (dostęp: 30.06.2018).

żenia licznych substancji toksycznych znacznie przekraczają wszelkie dopuszczalne normy ekspozycji zawodowej przyjęte do warunków przemysłowych². Śmiertelne ostre zatrucia w wyniku ekspozycji na atmosferę pożaru stanowią problem głównie w pomieszczeniach zamkniętych, choć niejednokrotnie dochodzi do nich także podczas intensywnych pożarów na przestrzeniach otwartych³. Pożary w nowoczesnych budynkach, wykończonych dużą ilością materiałów z tworzyw sztucznych, różnią się od spotykanych jeszcze kilkadziesiąt lat temu. Główną przyczyną zgonów ofiar pożarów jest dziś nie kontakt z płomieniami, lecz zatrucie substancjami obecnymi w atmosferze pożaru⁴ powstające w wyniku zarówno spalania, jak i podgrzewania bogatych w azot i halogenki syntetycznych materiałów polimerowych: tlenku węgla, tlenku azotu, kwasów nieorganicznych, aldehydów, alkoholi nisko cząsteczkowych i cyjanowodoru⁵. Typowe zatrucia tlenkiem węgla mają przebieg podstępny ze względu na właściwości tego gazu, który jest przezroczysty i bezwonny, jednak podczas pożaru wchodzi on w skład dymu, który z uwagi na współwystępowanie innych substancji jest widoczny i ma działanie drażniące na drogi oddechowe⁶. Zatrucia tlenkiem węgla wciąż pozostają główną przyczyną zgonów w wyniku zatrucia w pożarze, jednak ekspozycja na inne składniki dymu, zwłaszcza cyjanowodor, może znacząco obniżać stężenie tlenku węgla wystarczające do spowodowania śmierci. Z kolei spadek stężenia tlenu w powietrzu oddechowym do 10% lub poniżej, co niejednokrotnie zdarza się podczas pożarów, znacznie skraca czas, w którym do zgonu prowadzi ekspozycja nawet na stosunkowo niskie stężenia tlenku węgla i cyjanowodoru⁷. Zasadniczo na przestrzeni ostatnich dekad w przypadkach ekspozycji na dym zatrucia cyjanowodorem są rozpoznawane coraz częściej⁸. Pożary budynków nie stanowią jedynej domeny działalności strażaka i w razie pożarów instalacji przemysłowych, pojazdów czy składowisk materiałów niebezpiecznych,

² A. Miranda *et al.*, *Monitoring of firefighters exposure to smoke during fire experiments in Portugal*, „Environ Int.” 2010, 36(7), s. 736–745. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2010.05.009> (dostęp: 30.06.2018).

³ Z. Wardaszka *et al.*, *Levels of carbon monoxide and hydrogen cyanide in blood of fire victims in the autopsy material of the Department of Forensic Medicine*, „Archiwum Medycyny Sądowej i Kryminologii” 2005, nr 55(2), s. 130–133.

⁴ M. Stefanidou, S. Athanaselis, C. Spiliopoulou, *Health impacts of fire smoke inhalation*, „Inhal Toxicol.” 2008, nr 20(8), s. 761–766, <https://dx.doi.org/10.1080/08958370801975311> (dostęp: 30.06.2018).

⁵ I. Einhorn, *Physiological and toxicological aspects of smoke produced during the combustion of polymeric materials*, „Environ Health Perspect.” 1975, nr 11, s. 163–189, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1475181/> (dostęp: 30.06.2018).

⁶ J. Trnka, R. Susło, J. Drobniak, *Zatrucia tlenkiem węgla*, [w:] *Medycyna rodzinna — co nowego?* t. 2, red. A. Steciwko, Wrocław 2010, s. 246–248.

⁷ Y. Alarie, *Toxicity of fire smoke*, „Crit Rev Toxicol.” 2002, nr 32(4), s. 259–289, <https://dx.doi.org/10.1080/20024091064246> (dostęp: 30.06.2018).

⁸ R. Alcorta, *Smoke inhalation & acute cyanide poisoning. Hydrogen cyanide poisoning proves increasingly common in smoke-inhalation victims*, „JEMS.” 2004, nr 29(8), suppl 6–15, quiz suppl 16–17.

a nawet wysypisk odpadów komunalnych, wydzielające się dymy mogą zawierać dużo bardziej rozmaity zestaw substancji toksycznych. W Polsce w pierwszej połowie 2018 roku zarejestrowano około 80 dużych pożarów składowisk odpadów zawierających tworzywa sztuczne, opony i elektrośmieci⁹.

Materiał i metody

Dokonano przeglądu literatury, piśmiennictwa oraz obowiązujących aktów prawnych dla ustalenia charakterystyki zagrożeń związanych z ekspozycją funkcjonariuszy straży pożarnej na substancje niebezpieczne obecne w powietrzu w przypadku spalania odpadów oraz sposobów im zapobiegania.

Wyniki

Zgodnie z art. 1 ustawy z dnia 24 sierpnia 1991 roku o ochronie przeciwpożarowej¹⁰, ochrona ta polega na realizacji przedsięwzięć mających na celu ochronę życia, zdrowia, mienia lub środowiska przed pożarem, klęską żywiołową lub innym miejscowym zagrożeniem poprzez: zapobieganie powstawaniu i rozprzestrzenianiu się pożaru, klęski żywiołowej lub innego miejscowego zagrożenia; zapewnienie sił i środków do zwalczania pożaru, klęski żywiołowej lub innego miejscowego zagrożenia; prowadzenie działań ratowniczych. Jako odpowiedź na rosnącą potrzebę skoordynowania i dookreślenia ram współpracy części służb i formacji zaangażowanych w czynności ratownicze podczas zdarzeń zagrażających życiu i zdrowiu obywateli ustawa powołała do życia Krajowy System Ratowniczo-Gaśniczy (dalej: KSRG), który zaczął funkcjonować od 1 stycznia 1995 roku. W szczególności, zgodnie z art. 2 pkt 4 ustawy, KSRG stanowi integralną część systemu bezpieczeństwa wewnętrznego państwa obejmującą: ratowanie życia, zdrowia, mienia lub środowiska, prognozowanie, rozpoznawanie i zwalczanie pożarów, klęsk żywiołowych lub innych miejscowych zagrożeń. KSRG skupia jednostki ochrony przeciwpożarowej¹¹, inne służby, inspekcje, straże, instytucje

⁹ Greenpeace. Podsumowanie badań skażenia gruntu po pożarach składowisk odpadów w Trzebini i Zgierz. https://www.greenpeace.org/poland/PageFiles/862030/Podsumowanie_badan_skazenia_gruntu_Trzebinia_Zgierz.pdf (dostęp: 30.06.2018).

¹⁰ Dz.U. 1991 Nr 81 poz. 351, ze zm.

¹¹ Artykuł 15 ustawy z dnia 24 sierpnia 1991 roku o ochronie przeciwpożarowej uznaje za jednostki ochrony przeciwpożarowej: jednostki organizacyjne Państwowej Straży Pożarnej i jednostki organizacyjne Wojskowej Ochrony Przeciwpożarowej; zakładowe straże pożarne; zakładowe służby ratownicze; gminne zawodowe straże pożarne i powiatowe (miejskie) zawodowe straże pożarne;

oraz podmioty, które dobrowolnie współdziałają w akcjach ratowniczych. Istotną część tego systemu stanowią jednostki Ochotniczej Straży Pożarnej¹², często interweniujące zwłaszcza w przypadkach pożarów o zasięgu lokalnym. KSRG jest zorganizowany w sposób zapewniający jego ciągłe funkcjonowanie na poziomach powiatowym, wojewódzkim i krajowym.

Zgodnie z § 16 rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 3 lipca 2017 roku w sprawie szczegółowej organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego¹³, działania KSRG z zakresu ratownictwa chemicznego i ekologicznego obejmują planowanie, organizowanie i realizację działań ratowniczych niezbędnych do zmniejszenia lub likwidacji bezpośrednich zagrożeń stwarzanych przez substancje niebezpieczne dla ludzi, zwierząt, środowiska lub mienia. Działania te dotyczą w szczególności:

- rozpoznania i identyfikacji zagrożenia;
- zabezpieczenia strefy działań ratowniczych, w tym wyznaczenia i oznakowania strefy zagrożenia;
- włączania lub wyłączania instalacji, urządzeń i mediów mających wpływ na bezpieczeństwo zagrożonych lub poszkodowanych osób oraz na bezpieczeństwo ratowników;
- priorytetowego wykonania czynności umożliwiających: dotarcie i wykonanie dostępu do zagrożonych lub poszkodowanych osób wraz z przeprowadzeniem medycznych działań ratowniczych, lub ich ewakuację poza strefę zagrożenia; przygotowanie dróg ewakuacji zagrożonych lub poszkodowanych osób oraz ratowników; zapewnienie bezpieczeństwa zagrożonym lub poszkodowanym osobom oraz ratownikom; ewakuację i ratowanie osób, a następnie zwierząt oraz ratowanie środowiska i mienia przed skutkami bezpośrednich zagrożeń stwarzanych przez substancje niebezpieczne;
- oceny rozmiarów zagrożenia i prognozowania jego rozwoju;
- likwidacji, ograniczenia lub zwiększenia strefy zagrożenia;
- dostosowania sprzętu i technik ratowniczych do miejsca zdarzenia i rodzaju substancji niebezpiecznej w celu ograniczenia skutków wycieku, parowania lub emisji substancji niebezpiecznej;
- stawiania zapór na zbiornikach, ciekach lub akwenach zagrożonych skutkami rozlania substancji niebezpiecznych;
- związywania lub neutralizacji substancji niebezpiecznych;
- zabezpieczenia terenu objętego wyciekiem substancji niebezpiecznej;

terenowe służby ratownicze; ochotnicze straże pożarne; związki ochotniczych straży pożarnych; oraz inne jednostki ratownicze.

¹² T. Kocowski, *Gmina a Ochotnicze Straże Pożarne w wykonywaniu zadań w zakresie ochrony przeciwpożarowej*, „Prawo” 323, 2017, s. 101–112, <https://dx.doi.org/10.19195/0524-4544.323.11> (dostęp: 30.06.2018).

¹³ Dz.U. 2017 poz. 1319.

- prowadzenia czynności z zakresu dekontaminacji wstępnej;
- oceny rozmiarów powstałego zdarzenia.

Działania ratownicze z ratownictwa chemicznego i ekologicznego, w zakresie wynikającym z planu ratowniczego, prowadzą podmioty KSRG z uwzględnieniem ich wyszkolenia oraz wyposażenia w sprzęt specjalistyczny i środki ochrony indywidualnej oraz, w szczególności, specjalistyczne grupy ratownictwa chemiczno-ekologicznego Państwowej Straży Pożarnej i innych podmiotów KSRG będących jednostkami ochrony przeciwpożarowej.

Spalanie śmieci, które stanowi niestety popularny, nie tylko w Polsce, sposób ich usuwania, zwłaszcza wśród osób o niskich dochodach, powoduje głównie wzrost stężeń aerozoli organicznych w powietrzu, szczególnie w bezpośrednim sąsiedztwie źródła, nawet około 40%, a cząstek stałych (*particulate matter*, dalej: PM) o najmniejszych rozmiarach PM_{2,5}, które są najbardziej szkodliwe dla zdrowia ludzkiego — nawet około 15%, natomiast wzrost stężeń tlenu węgla, tlenków azotu i siarki oraz lotnych węglowodorów bywa stosunkowo niewielki, rzędu 3%¹⁴. Obecność tworzyw sztucznych w środowisku człowieka powoduje ekspozycję na zawarte w nich substancje szkodliwe dla zdrowia, których przykładem są dwufenyl A (BPA) czy plastyfikator ftalan etyloheksylu (DEHP) rozregulowujące ludzki układ hormonalny¹⁵ lub działające kardiotoxycznie¹⁶. Znaczny udział w spalanych śmieciach mają różnego rodzaju tworzywa sztuczne, których produkcja w ostatnich dziesięcioleciach rosła około 5% rocznie¹⁷, i szacuje się, że osiągnęła światowy poziom pomiędzy 150 mln ton¹⁸, a nawet 300 mln ton rocznie¹⁹, a recykling pozostaje wciąż niewielki — ich zawartość w spalanej masie można ustalić na podstawie wielu substancji wskaźnikowych obecnych w dymie²⁰. Jako że spalanie śmieci zachodzi zwykle przy niepełnym dostępie tlenu, stąd w czasie pożaru powstają znaczne ilości zarówno tlenu węgla, jak i policyklicznych wę-

¹⁴ A. Hodzic *et al.*, *Impact of trash burning on air quality in Mexico City*, „Environ Sci Technol.” 2012, nr 46(9), s. 4950–4957, <https://dx.doi.org/10.1021/es203954r> (dostęp: 30.06.2018).

¹⁵ E. North, R. Halden, *Plastics and environmental health: the road ahead*, „Rev Environ Health.” 2013, 28(1), s. 1–8, <https://dx.doi.org/10.1515/reveh-2012-0030> (dostęp: 30.06.2018).

¹⁶ N. Posnack, *The adverse cardiac effects of Di(2-ethylhexyl)phthalate and Bisphenol A*, „Cardiovasc Toxicol.” 2014, nr 14(4), s. 339–357, <https://dx.doi.org/10.1007/s12012-014-9258-y> (dostęp: 30.06.2018).

¹⁷ B. Simoneit, P. Medeiros, B. Didyk, *Combustion products of plastics as indicators for refuse burning in the atmosphere*, „Environ Sci Technol.” 2005, nr 39(18), s. 6961–6970.

¹⁸ A. Valavanidis *et al.*, *Persistent free radicals, heavy metals and PAHs generated in particulate soot emissions and residue ash from controlled combustion of common types of plastic*, „J Hazard Mater.” 2008, nr 156(1–3), s. 277–284, <https://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.12.019> (dostęp: 30.06.2018).

¹⁹ R. Halden, *Plastics and health risks*, „Annu Rev Public Health.” 2010, nr 31, s. 179–194, <https://dx.doi.org/10.1146/annurev.publhealth.012809.103714> (dostęp: 30.06.2018).

²⁰ B. Simoneit, P. Medeiros, B. Didyk, *Combustion products of plastics as indicators for refuse burning in the atmosphere*, „Environ Sci Technol.” 2005, 39(18), s. 6961–6970.

glowodorów aromatycznych²¹. Niekontrolowane spalanie najszerzej używanych tworzyw sztucznych (w tym polichlorku winylu — PVC, polietylenu niskiej i wysokiej gęstości — LDPE i HDPE, polistyrenu — PS, polipropylenu — PP oraz czteroftalanu polietylenu — PET) odbywa się w temperaturze około 700 stopni Celsjusza i wiąże się z uwalnianiem znacznych ilości ciemnego dymu bogatego w PM zawierające w znacznych ilościach toksyczne rodniki oraz sód, wapń, magnez, krzem i aluminium. Natomiast metale ciężkie, jak ołów, cynk, chrom, nikiel czy kadm, oraz małowcząsteczkowe policykliczne węglowodory aromatyczne występują w większych koncentracjach w stałych pozostałościach po spalaniu — zwęglonych resztkach i popiołach — niż w dymie. W porównaniu z innymi rodzajami tworzyw sztucznych, otwarte spalanie PVC powoduje wydzielanie znacznie większych ilości policyklicznych węglowodorów o dużej ilości pierścieni aromatycznych²², chlorowodoru, fosgenu i chloru cząsteczkowego²³, jednak jednocześnie prowadzi do powstawania najmniejszej ilości sadzy oraz PM 2,5, posiadających zdolność przenikania do ludzkich dolnych dróg oddechowych. Spalanie tworzyw sztucznych na wolnym powietrzu stanowi proces istotnie różny od spalania optymalizowanego, zachodzącego w warunkach kontrolowanych na przykład w spalarni odpadów — jako że zmiana choćby jednego z parametrów, jak dostarczenie tlenu w ilościach nadmiarowych, może krańcowo zmniejszyć ilość powstających cząstek stałych PM, zwłaszcza w przypadku tworzyw innych niż PVC²⁴. Należy zaznaczyć, że wśród osób wypalających trawy, zarośla i odpady rośnie popularność używania przyspieszaczy zapłonu, zwykle paliw silnikowych; substancje te modyfikują skład chemiczny powstających dymów²⁵.

Międzynarodowa Karta Charakterystyki Zagrożeń Zawodowych Strażaka²⁶ jako główne substancje chemiczne wydzielające się w czasie pożaru wymienia: tlenek węgla, cyjanowodor, tlenki azotu, dwutlenek siarki, fosgen, chlorowodor,

²¹ C. Boström *et al.*, *Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air*, „Environ Health Perspect.” 2002, nr 110, suppl 3, s. 451–488.

²² A. Valavanidis *et al.*, *Persistent free radicals, heavy metals and PAHs generated in particulate soot emissions and residue ash from controlled combustion of common types of plastic*, „J Hazard Mater.” 2008, 156(1–3), s. 277–284, <https://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.12.019> (dostęp: 30.06.2018).

²³ M. Witt *et al.*, *Analysis of the impact of harmful factors in the workplace on functioning of the respiratory system of firefighters*, „Ann Agric Environ Med.” 2017, nr 24(3), s. 406–410, <https://dx.doi.org/10.5604/12321966.1233561> (dostęp: 30.06.2018).

²⁴ B. Shemwell, Y. Levandis, *Particulates generated from combustion of polymers (plastics)*, „J Air Waste Manag Assoc.” 2000, nr 50(1), s. 94–102.

²⁵ L. Wibbenmeyer *et al.*, *A prospective analysis of trash, brush, and grass burning behaviors*, „J Burn Care Res.” 2008, nr 29(3), s. 441–445, <https://dx.doi.org/10.1097/BCR.0b013e3181710835> (dostęp: 30.06.2018).

²⁶ Międzynarodowa Karta Charakterystyki Zagrożeń Zawodowych, https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?_nfpb=true&_pageLabel=P7200142851340545953779&html_tresc_root_id=19019&html_tresc_id=18999&html_klucz=19019&html_klucz_spis (dostęp: 30.06.2018).

amoniak, formaldehyd, acetaldehyd, akroleinę, benzaldehyd, metyloetyloketon, fenol i jego pochodne, akrylonitryl, dwutlenek węgla, węglowodory aromatyczne — benzen, toluen, etylobenzen, ksyleny, trimetylobenzen, tetrametylobenzen, styren, kumen, dietylobenzeny, węglowodory alifatyczne (etan, oktan, nonan, metylnonan, tetradekan), chlorowcopochodne (dichlorometan, dichloroetan, chloroform, chloroetan, tetrachloroetylen, dichlorofluorometan). Do wyposażenia strażaka zgodnie z Kartą zalicza się między innymi sprzęt ochrony indywidualnej — specjalną odzież, obuwie, rękawice, hełmy — oraz sprzęt do ochrony dróg oddechowych, jak aparaty powietrzne albo tlenowe.

Typowo strażak wyposażony jest w odzież zabezpieczającą przed wysoką temperaturą, ochronne buty i hełm oraz niezależny aparat do oddychania (*self-contained breathing apparatus*, dalej: SCBA), przy czym parametry użytkowe, nawet tych uznawanych za podstawowe, środków podlegają znaczącym różnicom w różnych krajach. Przykładowo sprzęt SCBA zabezpiecza możliwość oddychania od 30 do 50 minut, zależnie od modelu²⁷. Badania odzieży i wyposażenia strażaków wykazują obecność zanieczyszczeń substancjami chemicznymi uwalniającymi się w wyniku podgrzewania i spalania tworzyw sztucznych — jak DEHP i policykliczne węglowodory aromatyczne — wskazujących na ekspozycję dużego stężenia tych substancji, mogącą wyjaśniać doniesienia dotyczące zwiększonej liczby chorób układu krążenia i nowotworowych wśród strażaków²⁸. Należy podkreślić, że wielokrotne — nawet krótkotrwałe — ekspozycje strażaków na wydzielające się podczas pożaru substancje o potencjalnym lub udowodnionym działaniu kancerogennym, w szczególności różnego rodzaju lotne substancje organiczne, mogą mieć efekt kumulatywny i należy im zapobiegać²⁹. Stosowanie SCBA może dawać strażakom złudne poczucie bezpieczeństwa, jako że z założenia podczas akcji skutecznie winien on chronić przed ekspozycją dróg oddechowych na substancje toksyczne zawarte w powietrzu, gdy tymczasem groźne dla zdrowia substancje, osadzając się na powierzchni ciała, w istotnych ilościach wchłaniane są także przez skórę³⁰ eksponowaną w miejscach odkrytych lub w okolicach połączeń odzieży i wyposażenia — w tym zwłaszcza w obrębie

²⁷ J.Y. Lee *et al.*, *What do firefighters desire from the next generation of personal protective equipment? Outcomes from an international survey*, „Ind Health.” 2015, nr 53(5), s. 434–444, <https://dx.doi.org/10.2486/indhealth.2015-0033> (dostęp: 30.06.2018).

²⁸ S. Lacey, B. Alexander, C. Baxter, *Plasticizer contamination of firefighter personal protective clothing — a potential factor in increased health risks in firefighters*, „J Occup Environ Hyg.” 2014, nr 11(5), s. D43–48, <https://dx.doi.org/10.1080/15459624.2013.877142> (dostęp: 30.06.2018).

²⁹ K. Fent, D. Evans, *Assessing the risk to firefighters from chemical vapors and gases during vehicle fire suppression*, „J Environ Monit.” 2011, nr 13(3), s. 536–543, <https://dx.doi.org/10.1039/c0em00591f> (dostęp: 30.06.2018).

³⁰ J. Pleil, M. Stiegel, K. Fent, *Exploratory breath analyses for assessing toxic dermal exposures of firefighters during suppression of structural burns*, „J Breath Res.” 2014, nr 8(3): 037107, <https://dx.doi.org/10.1088/1752-7155/8/3/037107> (dostęp: 30.06.2018).

szy — lub są wdychane przez strażaka podczas ich zdejmowania³¹. Ekspozycja skóry lub dróg oddechowych na substancje toksyczne może również zachodzić w czasie gdy strażak, zdjąwszy już część wyposażenia ochronnego, przeprowadza inspekcję miejsca niedawno ugaszonego pożaru³². Często niedostrzegany, lecz istotny w kontekście ekspozycji na substancje toksyczne, problem stanowi zaniechanie stosowania przez część strażaków niektórych dostępnych im środków ochrony osobistej³³. Skalę ekspozycji na substancje toksyczne, a tym samym i realną efektywność stosowania środków ochronnych przez strażaków, można ustalić na podstawie stosunkowo prostych pomiarów wskaźników biologicznych, w tym stężeń wielu metabolitów substancji toksycznych w moczu³⁴. Na niedostatki w zakresie stosowania środków ochronnych pośrednio może wskazywać występowanie u strażaków rozsianego zwłóknienia płuc i narastającego upośledzenia drożności dróg oddechowych spowodowanych powtarzającym się wielokrotnie w ciągu długiego czasu wdychaniem proszków gaśniczych³⁵. W kontekście skuteczności zabezpieczenia dróg oddechowych strażaków nie sposób nie wspomnieć, że gazy toksyczne stanowią także potencjalny środek rażenia w razie ataków terrorystycznych, zwłaszcza w przestrzeniach zamkniętych³⁶, podobnie jak zawieszone w powietrzu czynniki biologiczne³⁷.

Dla bezpieczeństwa i skuteczności pracy strażaka istotną rolę ma jakość wykorzystywanego wyposażenia. Jego podstawowe właściwości są określone w odpowiednich, szczegółowych regulacjach prawnych oraz obowiązujących normach — polskich i międzynarodowych — jednak rozwiązania techniczne i wynikające

³¹ K. Fent *et al.*, *Systemic exposure to PAHs and benzene in firefighters suppressing controlled structure fires*, „Ann Occup Hyg.” 2014, nr 58(7), s. 830–845, <https://dx.doi.org/10.1093/annhyg/meu036> (dostęp: 30.06.2018).

³² C. Baxter *et al.*, *Exposure of firefighters to particulates and polycyclic aromatic hydrocarbons*, „J Occup Environ Hyg.” 2014, nr 11(7), s. D85–91, <https://dx.doi.org/10.1080/15459624.2014.890286> (dostęp: 30.06.2018).

³³ M. Maglio *et al.*, *Situational Pressures that Influence Firefighters' Decision Making about Personal Protective Equipment: A Qualitative Analysis*, „Am J Health Behav.” 2016, nr 40(5), s. 555–567, <https://dx.doi.org/10.5993/AJHB.40.5.2> (dostęp: 30.06.2018).

³⁴ C. Caux, C. O'Brien, C. Viau, *Determination of firefighter exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and benzene during fire fighting using measurement of biological indicators*, „Appl Occup Environ Hyg.” 2002, 17(5), s. 379–386, <https://dx.doi.org/10.1080/10473220252864987>; M. Oliveira *et al.*, *Firefighters' exposure biomonitoring: Impact of firefighting activities on levels of urinary monohydroxyl metabolites*, „Int J Hyg Environ Health.” 2016, nr 219(8), s. 857–866, <https://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.07.011> (dostęp: 30.06.2018).

³⁵ M. Witt *et al.*, *Analysis of the impact of harmful factors in the workplace on functioning of the respiratory system of firefighters*, „Ann Agric Environ Med.” 2017, nr 24(3), s. 406–410, <https://dx.doi.org/10.5604/12321966.1233561> (dostęp: 30.06.2018).

³⁶ M. Eckstein, *Cyanide as a chemical terrorism weapon*, „JEMS.” 2004, nr 29(8), suppl 22–31.

³⁷ O. Grundmann, *The current state of bioterrorist attack surveillance and preparedness in the US*, „Risk Manag Healthc Policy.” 2014, 7, s. 177–87, <https://dx.doi.org/10.2147/RMHP.S56047> (dostęp: 30.06.2018).

z nich parametry poszczególnych modeli mogą wykazywać znaczące różnice. Jak wynika z badań przeprowadzonych wśród czynnych zawodowo strażaków wielu krajów, dalszego doskonalenia i popularyzacji wymagają systemy wykrywania toksycznych gazów w otoczeniu oraz rozwiązania pozwalające na szybkie wkładanie i zdejmowanie części odzieży oraz wyposażenia w sposób zapobiegający ryzyku kontaminacji; konieczne jest również dążenie do zmniejszenia ich masy oraz zwiększenia ergonomii ich użytkowania już w fazie projektowania, by zminimalizować skalę zaniechań ich stosowania przez strażaków³⁸.

Wnioski

Z uwagi na zagrożenia zdrowotne związane z ekspozycją zawodową na substancje toksyczne — w tym również z występującymi coraz częściej w Polsce pożarami składowisk odpadów — konieczne jest zapewnienie wszystkim strażakom adekwatnych środków ochrony przed uwalniającymi się w miejscu interwencji substancjami toksycznymi. Wskazane byłoby również wprowadzenie jako obowiązkowego dla wszystkich strażaków systemu monitorowania faktycznej skuteczności stosowania tych środków, opartego o okresowe badania markerów biologicznych zatrucia.

Bibliografia

- Alarie Y., *Toxicity of fire smoke*, „Crit Rev Toxicol.” 2002, nr 32(4).
Alcorta R., *Smoke inhalation & acute cyanide poisoning. Hydrogen cyanide poisoning proves increasingly common in smoke-inhalation victims*, „JEMS.” 2004, nr 29(8).
Baxter C., Hoffman J., Knipp M., Reponen T., Haynes E., *Exposure of firefighters to particulates and polycyclic aromatic hydrocarbons*, „J Occup Environ Hyg.” 2014, nr 11(7).
Boström C., Gerde P., Hanberg A., Jernström B., Johansson C., Kyrklund T., Rannug A., Törnqvist M., Victorin K., Westerholm R., *Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air*, „Environ Health Perspect.” 2002, nr 110.
Caux C., O'Brien C., Viau C., *Determination of firefighter exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and benzene during fire fighting using measurement of biological indicators*, „Appl Occup Environ Hyg.” 2002, nr 17(5).
Centralny Instytut Ochrony Pracy — Państwowy Instytut Badawczy. Międzynarodowa Karta Charakterystyki Zagrożeń Zawodowych https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?_nfpb=true&_pageLabel=P7200142851340545953779&html_tresc_root_id=19019&html_tresc_id=18999&html_klucz=19019&html_klucz_spis=.
Eckstein M., *Cyanide as a chemical terrorism weapon*, „JEMS.” 2004, nr 29(8).

³⁸ J.Y. Lee *et al.*, *op. cit.*

- Einhorn I. *Physiological and toxicological aspects of smoke produced during the combustion of Einhorn I. Physiological and toxicological aspects of smoke produced during the combustion of polymeric materials*. „Environ Health Perspect.” 1975, nr 11, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1475181/>.
- Fent K., Eisenberg J., Snauder J., Sammons D., Pleil J., Stiegel M., Mueller C., Horn G., Dalton J., *Systemic exposure to PAHs and benzene in firefighters suppressing controlled structure fires*, „Ann Occup Hyg.” 2014, nr 58(7).
- Fent K., Evans D., *Assessing the risk to firefighters from chemical vapors and gases during vehicle fire suppression*, „J Environ Monit.” 2011, nr 13(3).
- Greenpeace. Podsumowanie badań skażenia gruntu po pożarach składowisk odpadów w Trzebinii i Zgierz, https://www.greenpeace.org/poland/PageFiles/862030/Podsumowanie_badan_skazenia_gruntu_Trzebinia_Zgierz.pdf.
- Grundmann O., *The current state of bioterrorist attack surveillance and preparedness in the US*, „Risk Manag Healthc Policy.” 2014, nr 7.
- Halden R., *Plastics and health risks*, „Annu Rev Public Health.” 2010, nr 31.
- Hodzic A., Wiedinmeyer C., Salcedo D., Jimenez J., *Impact of trash burning on air quality in Mexico City*, „Environ Sci Technol.” 2012, nr 46(9).
- Kocowski T., *Gmina a Ochotnicze Straże Pożarne w wykonywaniu zadań w zakresie ochrony przeciwpożarowej*, „Prawo 323” 2017.
- Lacey S., Alexander B., Baxter C., *Plasticizer contamination of firefighter personal protective clothing — a potential factor in increased health risks in firefighters*, „J Occup Environ Hyg.” 2014, nr 11(5).
- Lee J.Y., Park J., Park H., Coca A., Kim J.H., Taylor N., Son S.Y., Tochihiro Y., *What do firefighters desire from the next generation of personal protective equipment? Outcomes from an international survey*, „Ind Health.” 2015, nr 53(5).
- Maglio M., Scott C., Davis A., Allen J., Taylor J., *Situational Pressures that Influence Firefighters' Decision Making about Personal Protective Equipment: A Qualitative Analysis*, „Am J Health Behav.” 2016, nr 40(5).
- Miranda A., Martins V., Cascão P., Amorim J., Valente J., Tavares R., Borrego C., Tchepel O., Ferreira A., Cordeiro C., Viegas D., Ribeiro L., Pita L., *Monitoring of firefighters exposure to smoke during fire experiments in Portugal*, „Environ Int.” 2010, nr 36(7).
- North E., Halden R., *Plastics and environmental health: the road ahead*, „Rev Environ Health.” 2013, nr 28(1).
- Oliveira M., Slezakova K., Alves M., Fernandes A., Teixeira J., Delerue-Matos C., Pereira M., Moraes S., *Firefighters' exposure biomonitoring: Impact of firefighting activities on levels of urinary monohydroxyl metabolites*, „Int J Hyg Environ Health.” 2016, nr 219(8).
- Pleil J., Stiegel M., Fent K., *Exploratory breath analyses for assessing toxic dermal exposures of firefighters during suppression of structural burns*, „J Breath Res.” 2014, nr 8(3).
- Posnack N., *The adverse cardiac effects of Di(2-ethylhexyl)phthalate and Bisphenol A*, „Cardiovasc Toxicol.” 2014, nr 14(4).
- Shemwell B., Levandis Y., *Particulates generated from combustion of polymers (plastics)*, „J Air Waste Manag Assoc.” 2000, nr 50(1).
- Simoneit B., Medeiros P., Didyk B., *Combustion products of plastics as indicators for refuse burning in the atmosphere*, „Environ Sci Technol.” 2005, nr 39(18).
- Stefanidou M., Athanaselis S., Spiliopoulou C., *Health impacts of fire smoke inhalation*, „Inhal Toxicol.” 2008, nr 20(8).
- Trnka J., Susło R., Drobnik J., *Zatrucia tlenkiem węgla*, [w:] *Medycyna rodzinna — co nowego?* t. 2, red. A. Steciwko, Wrocław 2010.

- Valavanidis A., Iliopoulos N., Gotsis G., Fiotakis K., *Persistent free radicals, heavy metals and PAHs generated in particulate soot emissions and residue ash from controlled combustion of common types of plastic*, „J Hazard Mater.” 2008, nr 156(1–3).
- Wardaszka Z., Niemcunowicz-Janica A., Janica J., Koc-Żórawska E., *Levels of carbon monoxide and hydrogen cyanide in blood of fire victims in the autopsy material of the Department of Forensic Medicine*, „Archiwum medycyny sądowej i kryminologii” 2005, nr 55(2).
- Wibbenmeyer L., Kealey G., Young T., Newell I., Lewis R., Miller B., Peek-Asa C., *A prospective analysis of trash, brush, and grass burning behaviors*, „J Burn Care Res.” 2008, nr 29(3).
- Witt M., Goniewicz M., Pawłowski W., Goniewicz K., Biczysko W., *Analysis of the impact of harmful factors in the workplace on functioning of the respiratory system of firefighters*, „Ann Agric Environ Med.” 2017, nr 24(3).

Wykaz aktów prawnych

- Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 roku o ochronie przeciwpożarowej (Dz.U. z 1991 r. Nr 81, poz. 351, ze zm.).
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 3 lipca 2017 roku w sprawie szczegółowej organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz.U. z 2017 r. poz. 1319).

Waste fires and firefighters' exposure to toxic agents

Summary

In Poland in recent years more and more waste have been set on fire, thus intervening firefighters are at increased risk of suffering intoxication from fumes. Based on current literature and legal regulations review, characteristics of relevant toxic substances, associated health hazards and preventive measures were analyzed. In order to prevent negative health effects it is crucial not only to equip firefighters with adequate personal protective equipment and clothing but also to introduce obligatory monitoring their proper usage based on biologic markers of intoxication.

Keywords: firefighter, waste fire, fume toxicity, health hazard.