

Krzysztof Cygańczuk^{a)*}, Paweł Janik^{a)}

^{a)} *Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute / Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy*

^{*} *Corresponding author / Autor korespondencyjny: kcyganczuk@cnbop.pl*

The Threat of Environmental Pollution with Harmful Substances, on the Example of Uncontrolled Fires in Landfills and Actions Aimed at Reducing it

Zagrożenie zanieczyszczenia środowiska substancjami szkodliwymi na przykładzie niekontrolowanych pożarów na składowiskach odpadów oraz działania zmierzające do jego ograniczenia

ABSTRACT

Aim: This article attempts to bring closer the issues related to the emission of harmful substances to the environment. The example of two fires that occurred in Poland in 2018 was used – in the former “Boruta” plant in Zgierz and in a landfill in Trzebinia. By presenting the results of measurements and tests available in this field, attention was drawn to the need to improve the methods of detecting and measuring hazardous substances, in particular with regard to their dispersion in the atmosphere.

Introduction: The threat to the environment resulting from improper management, including waste disposal, remains a serious challenge for many societies, also for the EU countries, which are among the richest countries in the world. Increased waste generation, high costs related to waste management, i.e. landfilling and recycling, generate the risk of deliberately causing fires in landfills as a method of free disposal. It is cost-free only from the point of view of the dishonest owner of this waste, because the direct costs of long-term rescue and firefighting activities and the effects of the emission of hazardous substances to the environment are borne by the society. In addition, in the last of the aspects mentioned above, the price for this method of disposal is paid primarily by people living in the vicinity of the facilities in question. But not only. In the event of the penetration of the substances mentioned above into the soil and watercourses via e.g. firefighting waters, their impact – also delayed in time – may also affect many other people, e.g. consumers of agricultural products manufactured in the contaminated areas.

Methodology: In the article, mainly theoretical research methods were used, including the analysis of literature. Also research reports of specialized research units involved in extinguishing the mentioned fires were analysed. The legal instruments were reviewed against the background of economic conditions and their impact on the efficiency of waste management in Poland was determined.

Conclusions: Despite measurement imperfections mentioned above, the presence of the compounds such as toluene, benzene, ethylbenzene, styrene, methylstyrene, sulfur dioxide and o-xylene, which are characteristic substances released during the combustion of plastics, was found in the fire areas. The analysis of surface water samples showed exceeding the standard levels of metals such as copper, aluminum and antimony, as well as petroleum substances such as anthracene, fluoranthene, benzo (b) fluoranthene, benzo (k) fluoranthene, benzo (g, h, i) fluoranthene, petroleum hydrocarbons and volatile phenols. Moreover, elevated values of heavy metals were found in the soil. The above data fully justify the formulation of a thesis on the need to undertake increased, systemic actions aimed at reducing the number and size of fires in landfills. The description of some activities in the field of fire protection of the considered facilities undertaken in Poland will also constitute one of the issues of this article.

Keywords: hazardous waste materials, environmental hazard, waste management, uncontrolled fires, legal regulations in waste management

Type of article: review article

Received: 08.06.2021; **Reviewed:** 21.07.2021; **Accepted:** 21.07.2021;

Authors' ORCID IDs: Krzysztof Cygańczuk – 0000-0003-1550-5880; Paweł Janik – 0000-0003-4498-7575;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 57 Issue 1, 2021, pp. 80–98, <https://doi.org/10.12845/sft.57.1.2021.6>;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRAKT

Cel: W ramach niniejszego artykułu podjęto próbę przybliżenia kwestii związanych z emisją do otoczenia substancji szkodliwych. Wykorzystano przykład dwóch pożarów zaistniałych w Polsce w 2018 r. – na terenie byłych zakładów „Boruta” w Zgierzu oraz na składowisku odpadów w Trzebini. Przedstawiając wyniki dostępnych w tym zakresie pomiarów i badań, zwrócono uwagę na potrzebę doskonalenia metod wykrywania i pomiaru substancji niebezpiecznych, w szczególności w odniesieniu do ich dyspersji w atmosferze.

Wprowadzenie: Zagrożenie środowiska wynikające z niewłaściwego gospodarowania, w tym składowania odpadów pozostaje poważnym wyzwaniem dla wielu społeczeństw, także dla krajów UE należących do najbogatszych państw na świecie. Zwiększone wytwarzanie odpadów, wysokie koszty związane z gospodarką odpadami, tj. składowaniem i recyklingiem, generują ryzyko umyślnego powodowania pożarów składowisk odpadów w celu tzw. darmowej utylizacji. Jest to działanie bezkosztowe tylko z punktu widzenia nieuczciwego posiadacza tych odpadów, bowiem bezpośrednie koszty długotrwałych działań ratowniczo-gaśniczych oraz skutki emisji do otoczenia niebezpiecznych substancji ponosi społeczeństwo. Dodatkowo, w ostatnim z wymienionych aspektów, cenę za ten sposób utylizacji płać przede wszystkim osoby zamieszkujące w sąsiedztwie rozpatrywanych obiektów. Ale nie tylko. W przypadku przeniknięcia wspomnianych substancji, np. z wodami pogaśniczymi do gleby oraz cieków wodnych, ich oddziaływanie – także to opóźnione w czasie – może dotyczyć również wielu innych osób, np. konsumentów produktów rolnych wytworzonych na zanieczyszczonych terenach.

Metodologia: W pracy wykorzystano głównie teoretyczne metody badawcze, w tym analizę literatury, a także przeanalizowano raporty badań wyspecjalizowanych jednostek badawczych biorących udział w gaszeniu przywołanych pożarów. Dokonano przeglądu instrumentów prawnych na tle uwarunkowań ekonomicznych oraz określono ich wpływ na efektywność gospodarki odpadami w Polsce.

Wnioski: Pomimo wspomnianych niedoskonałości pomiarowych, w rejonach pożarów stwierdzono obecność takich związków jak toluen, benzen, etylobenzen, styren, metylostyren, dwutlenek siarki i o-ksylen, czyli charakterystycznych substancji wydzielających się podczas spalania tworzyw sztucznych. Analiza próbek wód powierzchniowych wykazała przekroczenie norm dla metali takich jak miedź, aluminium i antymon, a także substancji ropopochodnych, takich jak antracen, fluoranten, benzo (b) fluoranten, benzo (k) fluoranten, benzo (g, h, i) fluoranten, węglowodory ropopochodne i fenole lotne. Ponadto w glebie stwierdzono podwyższone wartości metali ciężkich. Powyższe dane w pełni uzasadniają sformułowanie tezy o konieczności podejmowania wzmożonych, systemowych działań zmierzających do ograniczenia liczby oraz rozmiarów pożarów składowisk odpadów. Opis niektórych działań w zakresie ochrony przeciwpożarowej rozpatrywanych obiektów podjętych w Polsce będzie również stanowił jeden z wątków niniejszego artykułu.

Słowa kluczowe: niebezpieczne materiały odpadowe, zagrożenie dla środowiska, gospodarka odpadami, niekontrolowane pożary, uregulowania prawne w gospodarce odpadami

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 8.06.2021; **Zrecenzowany:** 21.07.2021; **Zaakceptowany:** 21.07.2021;

Identyfikatory ORCID autorów: Krzysztof Cygańczuk – 0000-0003-1550-5880; Paweł Janik – 0000-0003-4498-7575;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 57 Issue 1, 2021, pp. 80–98, <https://doi.org/10.12845/sft.57.1.2021.6>;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Introduction

The environment is our surroundings and the place to live. It shapes hydrological phenomena and soil-forming processes, providing drinking water and food. It actively participates in the processes of the circulation of matter and energy in nature, providing resources and raw materials, and absorbing waste and pollution. It regulates the climatic conditions on earth and the composition of the air we breathe. However, we often forget that this relationship is mutual – the condition of the natural environment determines the quality of human life, and all activities undertaken by humans significantly affect the quality of the environment [1]. The natural environment is the capital from which man can climb to the higher and higher levels of economic and social development [2]. For thousands of years, man has coexisted in harmony with other species, without exerting a significant influence on Earth with his presence. However, since the industrial revolution, the position of man has become dominant, and anthropopressure has reached a level that threatens our future existence. Years of over-exploitation of resources (especially non-renewable ones) and irrational waste management have led to environmental degradation and disturbance of its natural structures, exceeding its capacity and regeneration capacity. Only now we began to realize that our planet – and therefore the capital from which humanity draws – is a limited system, and its elements are strongly dependent on each other. The twentieth century awakened ecological awareness,

Wprowadzenie

Środowisko jest naszym otoczeniem i miejscem do życia. Kształtuje zjawiska hydrologiczne i procesy glebotwórcze, dostarczając wody pitnej i pożywienia. Aktywnie uczestniczy w procesach obiegu materii i energii w przyrodzie, zapewniając zasoby i surowce oraz pochłaniając odpady i zanieczyszczenia. Reguluje panujące na ziemi warunki klimatyczne i skład powietrza, którym oddychamy. Często zapominamy jednak, że zależność ta jest obustronna – stan środowiska naturalnego determinuje jakość życia człowieka, zaś wszystkie aktywności podejmowane przez człowieka znacząco wpływają na jakość środowiska [1]. Środowisko naturalne jest kapitałem, z którego czerpanie umożliwiło człowiekowi wspinanie się na coraz wyższe szczeble gospodarczego i społecznego rozwoju [2]. Przez tysiące lat człowiek współistniał w harmonii z innymi gatunkami, nie wywierając swą obecnością znaczącego wpływu na Ziemię. Jednak od czasów rewolucji przemysłowej pozycja człowieka stała się dominująca, a antropopresja osiągnęła poziom zagrażający jego przyszłej egzystencji. Lata nadmiernej eksploatacji zasobów (zwłaszcza tych nieodnawialnych) i nieracjonalne gospodarowanie odpadami doprowadziły do degradacji środowiska i zaburzenia jego naturalnych struktur, przekraczających jego pojemność i zdolność regeneracji. Dopiero współcześnie zaczęto zdawać sobie sprawę, że nasza planeta – a więc kapitał, z którego czerpie ludzkość – to układ ograniczony, a jego elementy są od siebie silnie zależne. Wiek XX obudził świadomość ekologiczną, dzięki czemu środowisko zaczęło pojmować

due to which we began to understand the environment holistically. Activities aimed at reducing the negative human impact on the environment and ensuring the best possible living conditions for future generations were initiated.

Waste management includes many activities related to the handling of waste, from its production to management through the recovery of secondary raw materials, to its neutralization that is safe for the environment and humans. Due to the amount of waste, diversified composition and properties, this issue is extremely complex [3]. This is mainly due to two closely related dimensions. The first one concerns the increase in the mass of waste, along with the increasing number of people, economic development, and the growing wealth of the society. The second one is related to the inconvenience and threats that may be caused by waste, especially those hazardous to the environment, and thus to humans [4].

The legal space in the area of waste management in Poland and other EU members is defined by EU directives [5–6]. They define essential concepts (such as waste, recycling and neutralization) and introduce important essential requirements on waste management. At the same time, they recommend such a course of waste management that has the least possible impact on the environment or human health. They oblige to apply the classification of waste management in accordance with the principle “the polluter pays”.

The aforementioned EU directives are intended to oblige the Member States to implement provisions that will enable the community to achieve specific goals. One of them is the introduction of recycling levels specified in Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 [5]. It assumed the achievement of a 50% level of recycling of paper, metals, plastics and glass by 2020. At the same time, the EU Council recently approved new levels of waste recycling: 55% by 2025, 60% by 2030 and 65% by 2035. In the event of non-compliance with the obligations under the directive, the European Commission may take legal action in the form of infringement proceedings, and the case may end in the Court of Justice of the European Union (CJEU). The mainstay of sustainable municipal waste management is its systemic treatment, taking into account economic, ecological and social aspects. It is important that waste has measurable values – material and energy. Rational management of natural resources should refer to waste as a valuable raw material that should be reused, processed or, as a last resort, recovered for energy [7].

Changes in Polish legislation have been made in particular in connection with the need to adapt certain requirements to the EU law mentioned above. Legislative measures, discussed later in the article, were also undertaken, for example concerning fire protection requirements for waste storage and treatment sites, which are not directly related to the subject of Community law. The actions mentioned above were influenced by the fact that the existing regulations did not guarantee the fulfilment of these requirements. The new system should bring about specific effects by the regulations in force within this organization – especially related to the performance of obligations imposed on Poland as a member of the European Union. This applies in

holistycznie. Zainicjowano aktywności mające na celu redukcję negatywnego oddziaływania człowieka na otoczenie i zapewnienie możliwie najlepszych warunków życia przyszłym pokoleniom.

Gospodarka odpadami obejmuje wiele czynności związanych z postępowaniem z odpadami, począwszy od ich wytwarzania do zagospodarowania poprzez odzysk surowców wtórnych, po bezpieczną dla środowiska i człowieka ich neutralizację. Problematyka ta ze względu na ilość odpadów, zróżnicowany skład i właściwości jest wyjątkowo złożona [3]. Wynika to głównie z dwóch, ściśle ze sobą powiązanych wymiarów. Pierwszy dotyczy wzrostu masy odpadów, postępującego wraz ze zwiększającą się liczbą ludności, rozwojem gospodarczym, a także rosnącą zamożnością społeczeństwa. Drugi zaś jest związany z niedogodnością i zagrożeniami, jakie mogą powodować odpady, zwłaszcza te niebezpieczne dla środowiska, a tym samym dla człowieka [4].

Przestrzeń prawną w obszarze gospodarowania odpadami w Polsce oraz pozostałymi członkami UE określają dyrektywy unijne [5–6]. Definiują one zasadnicze pojęcia (takie jak odpady, recykling i neutralizacja) oraz wprowadzają istotne podstawowe wymogi w zakresie gospodarowania odpadami. Jednocześnie rekomendują taki kierunek postępowania z odpadami, który wywiera jak najmniejsze oddziaływanie na środowisko lub ludzkie zdrowie. Zobowiązują do stosowania klasyfikacji postępowania z odpadami zgodnie z zasadą „zanieczyszczający płaci”.

Wspomniane dyrektywy unijne w założeniu obligują państwa członkowskie do wdrożenia przepisów, które umożliwią osiągnięcie przez wspólnotę określonych celów. Jednym z nich jest wprowadzenie poziomów recyklingu określonych w dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. [5]. Zakładała ona osiągnięcie 50-procentowego poziomu recyklingu papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła do 2020 roku. Równocześnie Rada UE zatwierdziła niedawno nowe poziomy recyklingu odpadów: 55% do 2025 r., 60% do 2030 r. i 65% do 2035 r. W przypadku niewypełnienia obowiązków wynikających z dyrektywy Komisja Europejska może podjąć kroki prawne w postaci wszczęcia postępowania w sprawie uchybienia zobowiązaniom państwa członkowskiego, a sprawa może zakończyć się w Trybunale Sprawiedliwości Unii Europejskiej (TSUE).

Ostoją zrównoważonej gospodarki odpadami komunalnymi jest ich systemowe traktowanie z uwzględnieniem aspektów ekonomicznych, ekologicznych i uwarunkowań społecznych. Ważne jest, że odpady mają wymierne wartości – materiałową i energetyczną.

Racjonalne gospodarowanie zasobami naturalnymi powinno odnosić się do odpadów jako cennych surowców, które należy ponownie wykorzystać, przetworzyć lub w ostateczności odzyskać z nich energię [7].

Zmiany w polskim obszarze prawnym zostały dokonane w szczególności w związku z koniecznością dostosowania określonych wymagań do omówionego powyżej prawa unijnego. Podjęto także, omówione w dalszej części artykułu, działania legislacyjne, np. dotyczące wymagań ochrony przeciwpożarowej dla miejsc składowania i przetwarzania odpadów, bezpośrednio niemające związku z materią prawa wspólnotowego. Na podjęcie wspomnianych działań wpływ miał fakt, że dotychczasowe regulacje nie gwarantowały realizacji tych wymagań. Nowy system powinien przynieść

particular to the already functioning rules related to limiting the storage of certain types of waste, carrying out storage in compliance with all legally required conditions, obtaining levels of recovery and recycling of packaging waste, as well as the implementation of other obligations introduced in connection with the amendment of the directive [5–6]. On the basis of the directives mentioned above, it can be observed that the promotion and implementation of selective waste collection is of great importance (the obligation to guarantee the transfer of selectively collected waste for recovery, especially recycling).

The analysis of the state of municipal waste management, both in Poland and in other European Union countries, shows that the problems related to municipal waste management and its impact on the environment remain unresolved. As a result of implementing new EU directives in the field of waste management and the increase in social awareness, the situation in our country in the field of environmental protection is definitely improving. Although the legal regulations in force in Poland comprehensively and in a modern manner regulate the principles of municipal waste management, the tightness of the municipal waste management system and the structure of its management remain unsatisfactory. This is due to, among others, from the insufficient scope of application of the law in practice and its effective enforcement in the current municipal and hazardous waste management system. Municipal waste management has been described by the legislator [8] as collection, transport, receiving, processing (recovery or disposal) of municipal waste, together with supervision over such activities, as well as subsequent activities related to waste disposal, sale or intermediation in trade (Art. 3, section 1 item 2). At the same time, a broader concept of waste management has been defined (Article 3, paragraph 1, point 3), which is understood as the generation of waste and waste management. It was also indicated (Article 16) that waste management should be carried out in a way that protects human life and health and the environment, and should not pose a threat to water, air, soil, plants or animals, should not be a nuisance due to noise or smell, and it should not have adverse effects on rural areas or places of special importance, including cultural and natural.

On the other hand, the objectives of environmental protection are set out in the Environmental Protection Law [9]. They were made more concrete in particular in Art. 3, point 13, where it has been indicated that the concept of environmental protection is understood as taking or abandoning actions that enable the preservation or restoration of the natural balance. Article 5 also specified that the protection of one or more natural elements should always be carried out taking into account other elements. Handling municipal waste is an important part of environmental protection, which consists in particular in its rational shaping and management of its resources in accordance with the principle of sustainable development [10], as well as preventing pollution and restoring natural elements to the proper state [11].

określone efekty – zwłaszcza związane z wykonaniem obowiązków nałożonych na Polskę jako członka Unii Europejskiej – przez przepisy obowiązujące w ramach tej organizacji. Dotyczy to szczególnie już funkcjonujących zasad związanych z ograniczeniem składowania niektórych rodzajów odpadów, prowadzeniem składowania z zachowaniem wszystkich wymaganych prawem warunków, uzyskaniem poziomów odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych, a także realizacją pozostałych obowiązków wprowadzonych w związku z nowelizacją dyrektywy [5–6]. Na podstawie przywołanych dyrektyw widać, że duże znaczenie ma propagowanie i realizowanie selektywnej zbiórki odpadów (obowiązek zagwarantowania przekazania odpadów selektywnie zebranych w celu poddania ich procesom odzysku, a zwłaszcza recyklingowi).

Analiza stanu gospodarki odpadami komunalnymi zarówno w Polsce, jak i w innych krajach Unii Europejskiej wskazuje, że problemy dotyczące zarządzania odpadami komunalnymi i jego wpływu na środowisko pozostają nadal nierozwiązane. W wyniku wdrażania nowych dyrektyw unijnych w zakresie gospodarki odpadami oraz wzrostu świadomości społecznej, sytuacja w naszym kraju w obszarze ochrony środowiska zdecydowanie się poprawia. Pomimo że obowiązujące w Polsce przepisy prawne w sposób kompleksowy i nowoczesny regulują zasady gospodarowania odpadami komunalnymi, wciąż niezadowolająca pozostaje szczelność systemu gospodarowania odpadami komunalnymi oraz struktura ich zagospodarowania. Wynika to m.in. z niewystarczającego zakresu stosowania prawa w praktyce oraz jego skutecznej egzekucji w obecnym systemie gospodarowania odpadami komunalnymi i niebezpiecznymi. Gospodarowanie odpadami komunalnymi ustawodawca [8] opisał jako zbieranie, transport, odbieranie, przetwarzanie (odzysk lub unieszkodliwienie) odpadów komunalnych, wraz z nadzorem nad tego rodzaju działaniami, jak również późniejszymi aktywnościami związanymi z unieszkodliwieniem odpadów, ich sprzedażą lub pośrednictwem w obrocie (art. 3, ust. 1 pkt 2). Jednocześnie zdefiniowano szersze pojęcie gospodarki odpadami (art. 3, ust. 1 pkt 3), pod którym rozumie się wytwarzanie odpadów oraz gospodarowanie odpadami. Wskazano przy tym (art. 16), że gospodarka odpadami powinna być prowadzona w sposób zapewniający ochronę życia i zdrowia ludzi oraz środowiska i nie powinna powodować zagrożenia dla wody, powietrza, gleby, roślin lub zwierząt, uciążliwości przez hałas lub zapach, a także wywoływać niekorzystnych skutków dla terenów wiejskich lub miejsc o szczególnym znaczeniu, w tym kulturowym i przyrodniczym.

Z kolei cele ochrony środowiska określono w ustawie Prawo ochrony środowiska [9]. Skonkretyzowano je w szczególności w art. 3, pkt 13, gdzie wskazano, iż pod pojęciem ochrony środowiska rozumie się podjęcie lub zaniechanie działań, umożliwiające zachowanie lub przywrócenie równowagi przyrodniczej. Doprecyzowano przy tym (art. 5), że ochrona jednego lub kilku elementów przyrodniczych powinna być realizowana zawsze z uwzględnieniem pozostałych elementów.

Postępowanie z odpadami komunalnymi stanowi istotną część ochrony środowiska, która polega w szczególności na jego racjonalnym kształtowaniu i gospodarowaniu jego zasobami zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju [10], a także na przeciwdziałaniu zanieczyszczeniom oraz przywracaniu elementów przyrodniczych do stanu właściwego [11].

Storage of waste

Storage of waste is the management of waste which has not been used economically or otherwise disposed of. This process consists in safe depositing them in places designated for this purpose [7]. Storage of waste is considered to be the least effective method of their neutralization, and at the same time very burdensome for the environment and people. The so-called wild landfills, i.e. collecting waste in places not intended for this purpose and in a way that does not protect the environment against their harmful effects, which results in uncontrolled gas emission to the atmosphere and contamination of ground and surface waters. A large problem are the so-called wild landfills, i.e. collecting waste in places not intended for this purpose and in a way that does not protect the environment against their harmful effects, which results in uncontrolled gas emission to the atmosphere and contamination of ground and surface waters.

Landfills can be divided into hazardous, inert, and other than hazardous and inert. Before being placed in a landfill, waste should undergo a process of physical, chemical, thermal or biological transformation (including segregation) in order to reduce the risk to human life and health or the environment, and to reduce the amount or volume of stored waste, as well as to facilitate its handling or recovery [12]. A very important issue in terms of securing a landfill against negative impacts on human health and against the deterioration of the natural environment is its location. The selection of a site for a waste landfill requires the collection of data including: local geological and geotechnical conditions, topographic conditions, the layout of existing water courses and reservoirs, the way of using water reservoirs (taking into account groundwater and surface water intakes and specific requirements for the protection of intakes), climatic conditions, landscape conditions taking into account the location of the landfill in relation to built-up areas, communication connections with public roads and the possibility of connecting to the existing infrastructure (water, sewage, electricity and telephone networks) [13].

In the literature on the subject, the factors limiting the location of the landfill include the presence of areas with intensive housing development, recreation areas, areas of particularly protected nature, airports, areas at risk of flooding, wet (marshy), unstable (landslides, with tectonic faults) and seismic zones. Unfortunately, imprecise regulations and – as it turned out – not fully effective solutions in the field of control and supervision led to a series of fires at waste storage and processing sites all over Poland. In many cases, it is difficult for them to be treated as a random event – deliberate arson was indicated as their probable cause.

Based on the data of the National Fire Service Headquarters, 177 fires were recorded in 2016, in 2017 – 132, in 2018 – 243, in 2019 – 177, and in 2020 – 111.

Why did this happen? The answer to this question is not simple and obvious. Analysts' opinions indicate that such a result may have been influenced by, among others, issues related to the expiry of the three-year acceptable period of waste storage specified in the previously granted concessions for their collection.

Składowanie odpadów

Składowanie to postępowanie z odpadami, których nie wykorzystano gospodarczo lub nie unieszkodliwiono w inny sposób. Proces ten polega na bezpiecznym deponowaniu ich w miejscach przeznaczonych do tego celu [7]. Składowanie odpadów jest uznawane za najmniej efektywną metodę ich unieszkodliwiania, jednocześnie bardzo uciążliwą dla środowiska i człowieka. Dużym problemem są tu tzw. dzikie wysypiska, czyli gromadzenie odpadów w miejscach do tego celu nieprzeznaczonych oraz w sposób, który nie zabezpiecza środowiska przed ich szkodliwym wpływem, czego skutkiem jest niekontrolowana emisja gazów do atmosfery oraz zanieczyszczenie wód gruntowych i powierzchniowych.

Składowiska można podzielić na składowiska odpadów niebezpiecznych, obojętnych oraz innych niż niebezpieczne i obojętne. Odpady przed umieszczeniem na składowisku powinny zostać poddane procesowi przekształcenia fizycznego, chemicznego, termicznego lub biologicznego (włącznie z segregacją) w celu obniżenia zagrożenia dla życia i zdrowia ludzi lub dla środowiska oraz ograniczenia ilości lub objętości składowanych odpadów, a także ułatwienia postępowania z nimi lub prowadzenia odzysku [12].

Bardzo istotną kwestią w odniesieniu do zabezpieczenia składowiska przed negatywnymi oddziaływaniami na zdrowie ludzi oraz przed wpływem na pogorszenie się stanu środowiska przyrodniczego jest jego lokalizacja. Wybór miejsca przeznaczonego na składowisko odpadów wymaga zgromadzenia danych obejmujących: miejscowe warunki geologiczne i geotechniczne, warunki topograficzne, układ istniejących cieków i zbiorników wodnych, sposób korzystania ze zbiorników wodnych (z uwzględnieniem ujęć wód podziemnych i powierzchniowych oraz szczególnych wymagań w zakresie ochrony ujęć), warunki klimatyczne, warunki krajobrazowe uwzględniające położenie składowiska w stosunku do terenów zabudowanych, połączenia komunikacyjne z drogami publicznymi oraz możliwości podłączenia do istniejącej infrastruktury (woda, kanalizacja, sieć elektryczna i telefoniczna) [13].

W literaturze przedmiotu do czynników ograniczających lokalizację składowiska zalicza się występowanie w jej pobliżu terenów o intensywnej zabudowie mieszkaniowej, terenów wypoczynku i rekreacji, obszarów przyrody szczególnie chronionej, lotnisk, terenów zagrożonych powodzią, podmokłych (bagiennych), niestabilnych (osuwiskowych, z uskokami tektonicznymi) oraz stref sejsmicznych. Niestety, nieprecyzyjne przepisy oraz – jak się okazało – nie w pełni efektywne rozwiązania w zakresie kontroli i nadzoru doprowadziły do serii pożarów miejsc składowania i przetwarzania odpadów w całej Polsce. W wielu przypadkach trudno im przypisać cechę zdarzenia losowego – jako ich prawdopodobną przyczynę wskazywano umyślne podpalenie.

Na podstawie danych Komendy Głównej PSP w 2016 r. podobnych pożarów zanotowano 177, w 2017 – 132, w 2018 – 243, w 2019 – 177, zaś w 2020 – 111. W świetle przytoczonych powyżej danych, krytycznym pod względem liczby zaistniałych zdarzeń okazał się rok 2018.

Dlaczego tak się stało? Odpowiedź na to pytanie nie jest prosta i oczywista. Opinie analityków wskazują, iż wpływ na taki wynik mógł mieć między innymi kwestie związane z upływającym terminem

After this time, they should be disposed of. Unfortunately, from a business point of view arson was probably the most profitable disposal method for many owners. On the other hand, as mentioned earlier, the costs, both those related directly to the rescue and firefighting activities, and exposure to the often long-lasting impact of harmful combustion products, were incurred and still – although on a slightly smaller scale – borne by the society.

It cannot be ruled out that for some of the dishonest landfill owners, paradoxically, the motivation for deliberately starting fires was the imminent prospect of the amended entering into force of stricter waste management regulations. These provisions will be discussed at the end of this article.

As mentioned in the introduction, the analysis of emissions from landfill fires will be presented based on the available data from two events in 2018. The fire at the waste storage site in Trzebinia, where tires were stored, occurred on 27 May 2018, and the landfill in Zgierz, where, among others, plastics, burned twice: on 25 May and 6 June 2018.

A fire in a landfill in Zgierz

The firefighting operation on the premises of the former Dye Industry Plant Boruta SA (GPS: 51.846047, 19.394231) was attended by units of JRG from Zgierz and Łódź as well as additional forces from the Łódź Province. At the order of the head of rescue operations, a Specialist Chemical Rescue Group was commissioned to monitor the air composition and the risk of toxic compounds formed during the combustion of plastics and other hazardous materials. Rescuers working from the leeward side were required to use respiratory protection equipment. The measuring equipment showed the concentration of carbon monoxide in the area of fire-fighting stations from the leeward side at the level of up to 50 ppm CO (parts per million), while the concentration of carbon monoxide allowed by the World Health Organization is 35 ppm. The tests carried out by the mobile laboratory of the Provincial Inspectorate for Environmental Protection in Łódź clearly show that the presence of benzene, toluene, ethylbenzene, styrene and other aromatic and cyclic hydrocarbons was detected at a distance of approx. 20 m from the fire source. Approximately 200 m from the scene of the incident, sulphur dioxide, ethylbenzene and o-xylene were found in the air [14].

In the area of the fire impact area, measurements were also carried out by the Central Contamination Analysis Centre (an organizational unit of the Polish Armed Forces). Qualitative research has shown the presence of such compounds as toluene, benzene, ethylbenzene, styrene, methylstyrene, sulphur dioxide and o-xylene, i.e. characteristic substances that are released during combustion processes including plastic.

Unfortunately, in most of the studies cited, most probably due to the current hardware limitations, no measurements and quantitative

trzyletniego dopuszczalnego okresu składowania odpadów określonego w przyznanych wcześniej koncesjach na ich gromadzenie. Po tym czasie powinny one zostać przekazane do utylizacji. Niestety, najprawdopodobniej dla wielu posiadaczy najkorzystniejszą z biznesowego punktu widzenia metodą wspomnianej utylizacji okazało się właśnie ich podpalenie. Natomiast koszty, jak wspomniano już wcześniej, zarówno te związane bezpośrednio z prowadzeniem działań ratowniczo-gaśniczych, jak i narażeniem na nieraz wielodniowe oddziaływanie szkodliwych produktów spalania, poniosło i nadal – choć nieco w mniejszej skali – ponosi społeczeństwo.

Nie można również wykluczyć, że dla części nieuczciwych właścicieli składowisk odpadów, paradoksalnie, motywacją do umyślnego wzniesienia pożarów była zbliżająca się nieuchronnie perspektywa wejścia w życie znowelizowanych, zaostrzonych przepisów w zakresie gospodarki odpadami. O wspomnianych przepisach będzie mowa w końcowej części niniejszego artykułu.

Jak wspomniano na wstępie, analiza emisji w trakcie pożarów składowisk odpadów zostanie przedstawiona w oparciu o dostępne dane z dwóch zdarzeń z 2018 r. Do pożaru w miejscu magazynowania odpadów w Trzebinii, gdzie znajdowały się opony, doszło 27 maja 2018 r., a składowisko w Zgierzu, na którym przechowywano m.in. tworzywa sztuczne, płonęło dwukrotnie: 25 maja oraz 6 czerwca 2018 r.

Pożar składowiska w Zgierzu

W akcji gaśniczej na terenie byłych Zakładów Przemysłu Barwników Boruta SA (GPS: 51.846047, 19.394231) udział brały zastępy JRG ze Zgierza i Łodzi oraz dodatkowe siły z terenu województwa łódzkiego. Na polecenie kierującego działaniami ratowniczymi zadysponowano do zdarzenia Specjalistyczną Grupę Ratownictwa Chemicznego w celu monitorowania składu powietrza i zagrożenia toksycznymi związkami powstałymi podczas spalania tworzyw sztucznych i innych materiałów niebezpiecznych. Ratownicy pracujący od strony zawietrznej zobowiązani zostali do użycia sprzętu ochrony układu oddechowego. Sprzęt pomiarowy wykazał stężenie tlenu węgla w obrębie stanowisk gaśniczych od strony zawietrznej na poziomie do 50 ppm CO (ang. parts per milion), tymczasem stężenie tlenu węgla dopuszczone przez Światową Organizację Zdrowia to 35 ppm. Z badań wykonanych przez mobilne laboratorium Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Łodzi wynika jednoznacznie, że w odległości ok. 20 m od źródła pożaru wykryto obecność benzenu, toluenu, etylobenzenu, styrenu i innych węglowodorów aromatycznych i pierścieniowych. Około 200 m od miejsca zdarzenia stwierdzono w powietrzu obecność tlenków siarki, etylobenzenu i o-ksylenu [14].

W rejonie obszaru oddziaływania pożaru pomiary prowadził również Centralny Ośrodek Analizy Skażeń (jednostka organizacyjna Sił Zbrojnych RP). Badania jakościowe wykazały obecność takich związków jak toluen, benzen, etylobenzen, styren, metylostyren, ditlenek siarki i o-ksylen, tj. substancji charakterystycznych, które są uwalniane podczas procesów, m.in. spalania tworzyw sztucznych.

Niestety w większości przywołanych badań, najprawdopodobniej ze względu na występujące obecnie ograniczenia sprzętowe, nie

analyses were performed. Only such analyses would allow to obtain full knowledge about the type and scale of the threat and to create precise recommendations regarding, among others, an order to evacuate people from the endangered area or announcing a message about the need to stay at the place of residence.

In view of the above, it seems justified to formulate a postulate regarding the need to develop tools and techniques in the field of remote detection of hazardous substances in the atmosphere. Of course, the authors of this publication are aware of the many limitations that exist in this field, for example related to the uncertainty of measurements resulting from the variability of atmospheric conditions (humidity, temperature, pressure, wind speed and direction) or difficulties in precisely locating the place where the detected hazardous substance is at any given moment. Nevertheless, it seems that the tools currently available – e.g. unmanned aerial vehicles (UAVs), cooperating with each other within the so-called swarms, equipped with modern sensors for remote detection – create the prospect of improving procedures in this area. We will return to the issue of the use of UAVs in more detail when discussing the second of the analysed fires.

More precise data has been collected for surface water pollution. The Provincial Inspectorate for Environmental Protection in Łódź (WIOŚ) conducted research in this area during the firefighting operation and immediately after it. They were conducted from 28 May to 4 June 2018 and 27 June 2018. As the leachate of polluted waters from the burning areas flowed by gravity into the Wrząca River (a tributary of the Sokołówka River, which reaches the Bzura River), the WIOŚ laboratory in Łódź (having accreditation system No. AB 590) on 28 May collected water samples from the outlet of the waters flowing from the fire site rainwater sewage system.

dokonywano pomiarów i analiz ilościowych. Dopiero takie analizy pozwoliłyby na uzyskanie pełnej wiedzy o rodzaju i skali zagrożenia oraz na stworzenie precyzyjnych rekomendacji dotyczących m.in. nakazu ewakuacji ludności z zagrożonego terenu lub ogłoszenia komunikatu o konieczności pozostania w miejscu zamieszkania.

W związku z powyższym uzasadnionym wydaje się sformułowanie postulatu dotyczącego potrzeby rozwijania narzędzi i technik w obszarze zdalnej detekcji substancji niebezpiecznych w atmosferze. Oczywiście autorzy niniejszej publikacji mają świadomość wielu ograniczeń, jakie występują w tej dziedzinie, chociażby związanych z niepewnością pomiarów wynikającą ze zmienności warunków atmosferycznych (wilgotność, temperatura, ciśnienie, prędkość i kierunek wiatru) czy trudnościami w precyzyjnym zlokalizowaniu miejsca, w którym wykryta substancja niebezpieczna znajduje się w danym momencie. Niemniej wydaje się, że dostępne obecnie narzędzia – np. bezałogowe statki powietrzne (BSP), współpracujące ze sobą w ramach tzw. rojów, wyposażone w nowoczesne czujniki zdalnej detekcji – stwarzają perspektywę udoskonalenia procedur w tym zakresie. Do kwestii wykorzystania BSP wrócimy nieco szerzej przy okazji omawiania drugiego z analizowanych pożarów.

Bardziej precyzyjne dane zgromadzono w odniesieniu do zanieczyszczenia wód powierzchniowych. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Łodzi (WIOŚ) prowadził badania w tym zakresie w trakcie trwania akcji gaśniczej oraz bezpośrednio po niej. Prowadzono je od 28 maja do 4 czerwca 2018 r. oraz 27 czerwca 2018 r. Ponieważ odcieki zanieczyszczonych wód pochodzących z płonących terenów spływały grawitacyjnie do rzeki Wrząca (dopływ rzeki Sokołówka, która dociera do rzeki Bzury), laboratorium WIOŚ w Łodzi (posiadające wdrożony system akredytacji AB 590) 28 maja pobrało próbki wody z miejsca wylotu wód spływających z terenu pożaru kanalizacją deszczową.

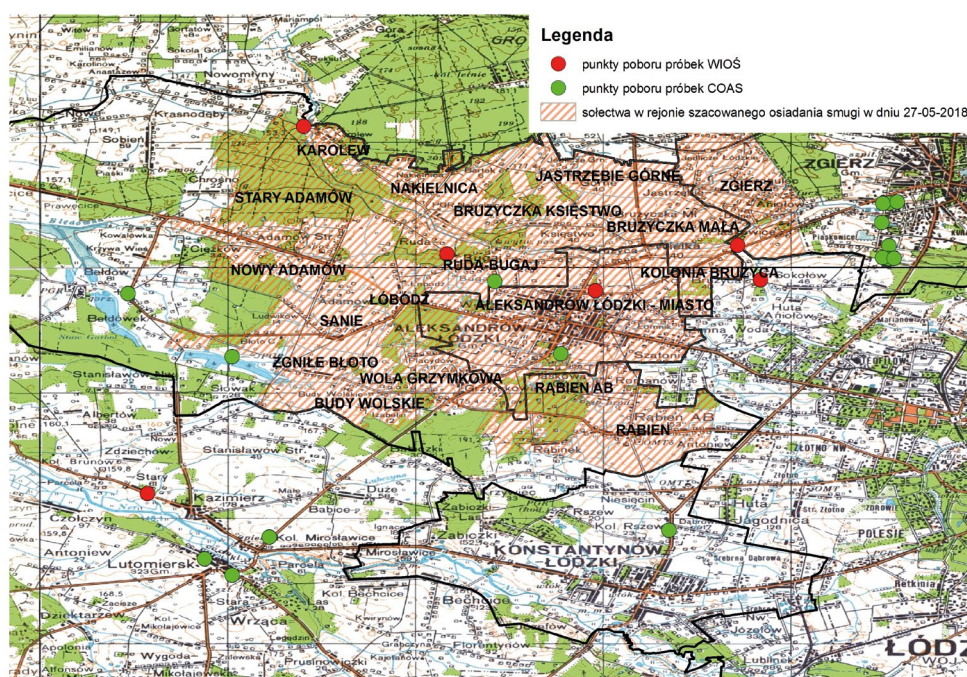


Figure 1. Points of sampling on 27.05.2018

Rycina 1. Punkty poboru próbek w dniu 27.05.2018 r.

Source / Źródło: WIOŚ in Łódź / WIOŚ w Łodzi.

After laboratory analyses, the samples were found to exceed the standards for copper, aluminium and antimony and to exceed the maximum permissible concentration level specified in the Regulation of the Minister of the Environment of 21 July 2016 on the method of qualifying the state of surface water bodies and environmental quality standards of priority substances for organic pollutants (see Table 1).

Po przeprowadzeniu analiz laboratoryjnych w próbkach stwierdzono przekroczenie norm dla miedzi, glinu i antymonu oraz przekroczenie maksymalnego dopuszczalnego poziomu stężenia określonego w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2016 r. w sprawie sposobu kwalifikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości substancji priorytetowych dla zanieczyszczeń organicznych (zob. tabela 1).

Table 1. The content of metals and organic pollutants in samples taken from the outlet of rainwater to the Wrząca River
Tabela 1. Zawartość metali i zanieczyszczeń organicznych w próbkach pobranych z wylotu wód deszczowych do rzeki Wrzącej

Contamination / Zanieczyszczenie	Unit / Jednostka	Value / Wartość
Copper / Miedź		0,121
Aluminium / Glin	mg/L	1,10
Antimony / Antymon		0,215
Anthracene / Antracen		1,955
Fluoranthene / Fluoranten		1,032
Benzo(b)fluoranthene / Benzo(b)fluoroanten		0,241
Benzo(k)fluoranthene / Benzo(k)fluoroanten	µg/L	0,126
Benzo(g,h,i)fluoranthene / Benzo(g,h,i)fluoroanten		0,341
Petroleum hydrocarbons / Węglowodory ropopochodne		0,758
Volatile phenols / Fenole lotne		5,40

Source: Own elaboration based on the test reports of the Provincial Inspectorate for Environmental Protection in Łódź, published in the bulletin No. 1 of 12.06.2018 [15].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie raportów z badań Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Łodzi, opublikowanych w komunikacie nr 1 z dnia 12.06.2018 [15].

Water samples from the Bzura River were also collected in four places: at the outlet of the rain collector to the river, above the outlet of the rain collector to the river, below the rain collector in front of the foam dam and below the outlet of the rain collector behind the foam dam. The test results showed that the concentrations of anthracene (0.0438 µg/L), fluoranthene (0.0686 µg/L), benzo(b)fluoranthene (0.0348 µg/L), benzo(k)fluoranthene (0.241 µg/L), benzo(g,h,i)fluoranthene (0.0916 µg/L), petroleum hydrocarbons (2.1 µg/L) and volatile phenols (0.757 µg/L) were exceeded. After comparing them with the standards specified in the regulation [19], the obtained values clearly indicated poor chemical status of surface waters on the day of sampling (30 May). On the basis of the obtained analysis results, it can be concluded that the level of water pollution in the Bzura River was caused by the runoff of the leachate from the fire site. On the other hand, the values obtained from the sampling on the Bzura River are much lower than in the water samples from the Wrząca River. This discrepancy appeared

Pobrano również próbki wody z Bzury w czterech miejscach: u wylotu kolektora deszczowego do rzeki, powyżej wylotu kolektora deszczowego do rzeki, poniżej kolektora deszczowego przed zaporą z pianki oraz poniżej wylotu kolektora deszczowego za zaporą z pianki. Wyniki badań wskazały na przekroczenia stężeń antracenu (0,0438 µg/L), fluorantenu (0,0686 µg/L), benzo(b)fluoroantenu (0,0348 µg/L), benzo(k)fluoroantenu (0,241 µg/L), benzo(g,h,i)fluoroantenu (0,0916 µg/L), węglowodorów ropopochodnych (2,1 µg/L) i lotnych fenoli (0,757 µg/L). Otrzymane wartości po porównaniu do norm określonych w rozporządzeniu [19] jednoznacznie wskazały na zły stan chemiczny wód powierzchniowych w dniu poboru prób (30 maja). Na podstawie otrzymanych wyników analiz można stwierdzić, iż poziom zanieczyszczenia wód rzeki Bzury spowodowany był przez spływ odcieków z miejsca pożaru. Natomiast otrzymane wartości z poboru prób na rzece Bzurze, są znacznie mniejsze niż w próbkach wody z Wrzącej. Rozbieżność ta pojawiła się ze względu na rozproszenie się

due to the dispersion of harmful substances during the flow in the stronger and wider current of the Bzura River [15].

In connection with the fire extinguishing action, which lasted until 3 June 2018, in order to further control the quality of the waters, on 30 May water samples from the Sokołówka River, which transported polluted waters from Wrząca to Bzura, were collected for analysis. The obtained test results indicated single exceedances of the indicators of benzo(g,h,i)perylene, volatile phenols, as well as barium and antimony. The reduction in the amount of transported pollutants was caused by the limitation of the amount of water used for extinguishing activities, thus reducing the amount of generated leachate. Analyses of water samples from all three rivers, collected on 4 and 27 June 2018, after the firefighting operation was completed by the State Fire Service, did not indicate that the permissible levels of pollution were exceeded, which was related to the cessation of using water to extinguish smouldering waste. Thus, the formation of leachate flowing by gravity, which could reach the Wrząca River, was limited. On 2 July 2018, the Provincial Inspectorate of Environmental Protection in Łódź commenced inspection activities in the area where the fire occurred. Water samples were collected from the rainwater drain from the waste storage area, the puddle in the waste storage area and the incinerated waste, from which the analysed water extract was prepared, and the soil from the land lot no. 374/3. Elevated heavy metal content was found in the soil, however, not exceeding the permissible values for the industrial zone, specified in the regulation of the Minister of the Environment [16]. The conducted tests of the water extract obtained from the collected waste samples indicated the release of heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and volatile phenols into the environment. High values of the following indicators were found in the analysed water samples (see Table 2).

substancji szkodliwych podczas przepływu w silniejszym i szerszym nurcie rzeki Bzura [15].

W związku z trwającą do 3 czerwca 2018 r. akcją dogaszania pogorzelska, w celu dalszej kontroli jakości wód, 30 maja pobrano do analizy próbki wody z rzeki Sokołówka, która transportowała zanieczyszczone wody z Wrzącej do Bzury. Otrzymane wyniki badań wskazały na pojedyncze przekroczenia wskaźników benzo(g,h,i)perylenu, fenoli lotnych oraz baru i antymonu. Zmniejszenie ilości transportowanych zanieczyszczeń było spowodowane ograniczeniem ilości wody wykorzystanej do działań gaśniczych, tym samym zmniejszeniem ilości powstających odcieków. Analizy próbek wód ze wszystkich trzech rzek, pobranych 4 i 27 czerwca 2018 r. już po zakończeniu przez PSP akcji gaśniczej, nie wskazały na przekroczenia dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń, co było związane z zaprzestaniem wykorzystywania wody w celu ugaszenia tłących się odpadów. Tym samym ograniczono powstawanie odcieków spływających grawitacyjnie, które mogłyby dotrzeć do Wrzącej. Dnia 2 lipca 2018 r. WIOŚ w Łodzi rozpoczął czynności kontrolne na terenie, na którym doszło do pożaru. Pobrano próbki wody ze studzienki kanału deszczowego z terenu magazynowania odpadów, kałuży na terenie magazynowania odpadów oraz spalonych odpadów, z których sporządzono wyciąg wodny poddany analizie oraz gleby z działki ewidencyjnej 374/3. W glebie stwierdzono podwyższone zawartości metali ciężkich, nie przekraczające jednak wartości dopuszczalnych dla strefy przemysłowej, określonych w rozporządzeniu Ministra Środowiska [16]. Przeprowadzone badania wyciągu wodnego uzyskanego z pobranych próbek odpadów wskazały na uwolnienie do środowiska metali ciężkich, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) oraz lotnych fenoli. W przeanalizowanych próbkach wody stwierdzono wysokie wartości następujących wskaźników (zob. tabela 2).

Table 2. Results of water sample test
Tabela 2. Wyniki badań próbek wody

Indicator / Wskaźnik	Place of sampling / Miejsce pobrania próbki	
	Rainwater channel (manhole) / Kanał deszczowy (studzienka)	Pool water, fire area / Woda z kałuży, teren popożarowy
Volatile phenols / Fenole lotne	1,8 mg/l	0,558 mg/l
Petroleum hydrocarbons / Węglowodory ropopochodne	0,31 mg/l	34 mg/l
General suspension / Zawiesina ogólna	831 mg/l C	2367 mg/l
Total organic carbon / OWO	115 mg/l	614 mg/l C
Conductivity at 25°C / Przewodność w 25 C	3395µS/cm	7145µS/cm

Source: Own elaboration based on the test reports of the Provincial Inspectorate for Environmental Protection in Łódź, published in the bulletin No. 1 of 12.06.2018 [15].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie raportów z badań Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Łodzi, opublikowanych w komunikacie nr 1 z dnia 12.06.2018 [15].

The analyzed samples also showed a high content of petroleum substances and volatile phenols, which are elements that are part of the structure of plastics or are compounds released during the processes to which they were previously subjected. In the event of a fire in Zgierz, plastic waste was subjected to, among others, oxidation processes at high temperatures. On 6 December 2018, three samples of water deposited in areas leased by two waste storage companies were collected. Based on the results of the tests carried out by the accredited WIOŚ laboratory in Łódź, it was found that the amounts of PAHs, in particular naphthalene, which is used in the production of plastics (see Table 3) increased several times.

W analizowanych próbkach wykazano również wysoką zawartość substancji ropopochodnych oraz fenoli lotnych, które elementami wchodzącymi w strukturę budowy tworzyw sztucznych lub są związkami uwalnianymi podczas procesów, którym zostały one wcześniej poddane. W przypadku pożaru w Zgierzu odpady z tworzyw sztucznych zostały poddane m.in. procesom utleniania w wysokich temperaturach.

Dnia 6 grudnia 2018 r. pobrano trzy próbki wód zalegających na terenach dzierżawionych przez dwie firmy składujące odpady. Na podstawie wyników badań akredytowanego laboratorium WIOŚ w Łodzi stwierdzono, że kilkukrotnie zwiększyły się m.in. ilości WWA, w szczególności naftalenu, który jest wykorzystywany do produkcji tworzyw sztucznych (zob. tabela 3).

Table 3. Results of tests of water samples taken from the puddle in the landfill, mg/L
Tabela 3. Wyniki badań próbek wody pobranych z kałuży na terenie składowiska odpadów, mg/L

Indicator / Wskaźnik	July of 2018 / Lipiec 2018 r.	December of 2018 / Grudzień 2018 r.
molybdenum / molibden	0,022 mg/l	0,049 mg/l
antimony / antymon	0,153 mg/l	0,387 mg/l
anthracene / antracen	0,029 mg/l	0,0339 mg/l
fluoranthene / fluoranten	0,021 mg/l	0,2145 mg/l
naphthalene / naftalen	<0,003 mg/l	0,0069 mg/l
Benzo(a)pyrene / Benzo(a)piren	<0,003 mg/l	0,2166 mg/l
Benzo(b)fluoranthene / Benzo(b)fluoranten	<0,003 mg/l	0,1983 mg/l
Benzo(k)fluoranthene / Benzo(k)fluoranten	<0,003 mg/l	0,0808 mg/l
Benzo(g,h,i)perylene / Benzo(g,h,i)perylene	<0,003 mg/l	0,1786 mg/l
Indeno(1,2,3-cd)pyrene / Indeno(1,2,3-cd)piren	<0,003 mg/l	0,1292 mg/l
Dibenzo(a,h)anthracene / Dibenzo(a,h)antracen	<0,003 mg/l	0,0128 mg/l

Source: Own elaboration based on the test reports of the Provincial Inspectorate for Environmental Protection in Łódź, published in the bulletin No. 1 of 12.06.2018 [15].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie raportów z badań Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Łodzi, opublikowanych w komunikacie nr 1 z dnia 12.06.2018 [15].

A fire in a landfill in Trzebinia

The waste storage site in Trzebinia did not have the status of a landfill. The facility was located on three plots and covered an area of approx. 3 ha. The fire in this area occurred on 27 May 2018 at around 1.30 a.m. and covered an area of approximately 1 ha. 69 fire brigades participated in the firefighting operation (a total of about 240 firefighters). Fire brigade officers with the

Pożar składowiska w Trzebini

Miejsce składowania odpadów w Trzebini nie posiadało statusu składowiska. Obiekt był zlokalizowany na trzech działkach i zajmował powierzchnię ok. 3 ha. Pożar na tym obszarze nastąpił w dniu 27 maja 2018 r. ok. godziny 1.30 w nocy i objął teren o powierzchni ok. 1 ha. W akcji gaśniczej uczestniczyło 69 zastępów straży pożarnej (łącznie ok. 240 strażaków). Funkcjonariusze

help of heavy equipment made a cut in an area of approx. 1 ha, where a fire broke out to separate it from the rest of the landfill and the nearby forest. To extinguish the fire, a fire-fighting plane and water from the Chechło reservoir were used, as well as water and foam cannons. About 70% of the area covered by the fire was covered with foam. Smouldering heaps of waste were dug up by heavy equipment and extinguished by firefighters. The fire was extinguished after 70 hours of a very difficult operation. According to the findings of the Provincial Police Headquarters in Krakow, arson was the cause of the incident. Mateusz B. and Kacper P. were brought before the court. The prosecutor's office accused them of a series of arson attacks in the years 2016–2018, which took place in various towns of the Chrzanów poviát. As a result of the fire in Trzebinia 46,000 m³ of rubber waste was burnt. Both men pleaded guilty, the court sentenced the first to two years and four months in prison, his partner – to two years and two months.

In case of this fire, unmanned aerial vehicles (UAVs) were used to prepare the hazard analysis related to the emission of hazardous substances – to some extent, though not directly for measurements. They were used in particular to make an orthophotomap of the fire area along with dimensioning of the piles of waste left after the fire in the landfill. The inventory of waste and gardens in the area of the fire was made using UAV applying the photogrammetric method. The device used for the measurements is a DJI multirotor, model S1000+. A Sony Alfa A7R camera with a Sony Zeiss Sonnar 35 mm lens was mounted on the UAV, the position of which was stabilized by a Zenmuse gimbal. The field work included the acquisition of photographs of the entire study area with the help of UAVs, as well as the measurement of photopoints using classical geodetic methods. Field measurements with the use of UAVs were preceded by the development of the flight route. The design of the photogrammetric missions was carried out taking into account the specifications of the equipment used and the assumed size of the field pixel, which was 10 mm for the landfill area and 15 mm for the gardens. Therefore, when planning the flights, the UAV flight altitude above the ground surface for the landfill was assumed to be 75 m, UAV flight altitude above the ground surface for the area of allotments – 100 m, transverse coverage between photos in adjacent rows – minimum 65%, longitudinal coverage between photos in a row – 80%. UAV flight plans were adapted to the nature of the studied area and prepared using the DJI Ground Station software.

The practical application of one of the possibilities offered by the use of properly equipped UAVs during a fire was discussed above. However, apart from the classic use of RGB (Red Green Blue – visible light) cameras, unmanned aerial vehicles can be used to perform many other tasks. It should be noted that with the current advancement of unmanned technologies, their functionality and suitability for the person managing the firefighting operation depends to a large extent on the effectiveness of the installed equipment and sensors. Currently, the most frequently used UAV accessories are RGB cameras used for monitoring and creating up-to-date orthophotomaps of the area of operations, thermal imaging cameras for searching for hidden fires, blazes of fire, etc., and chemical substances sensors to recognize air

Straży Pożarnej z pomocą ciężkiego sprzętu wykonali przecinę na terenie ok. 1 ha, gdzie powstał pożar, by oddzielić go od reszty składowiska i pobliskiego lasu. Do gaszenia pożaru wykorzystano samolot gaśniczy oraz wodę z zalewu Chechło, a także działka wodno-pianowe. Pianą pokryto ok. 70% terenu objętego pożarem. Tłące się hałdy odpadów były przekopywane i rozgrzebywane przez ciężki sprzęt i dogaszane przez strażaków. Pożar został ugaszony po 70 godz. bardzo trudnej akcji. Według ustaleń Komendy Wojewódzkiej Policji w Krakowie przyczyną zdarzenia było podpalenie. Przed sądem stanęli Mateusz B. i Kacper P. Prokuratura oskarżyła ich o serie podpałów w latach 2016–2018, które miały miejsce w różnych miejscowościach powiatu chrzanowskiego. W wyniku pożaru w Trzebinii spłonęło 46 tys. m³ odpadów gumowych. Obaj mężczyźni przyznali się do winy, sąd skazał pierwszego na dwa lata i cztery miesiące więzienia, jego współnika – na dwa lata i dwa miesiące.

W przypadku tego pożaru na potrzeby sporządzenia analizy zagrożenia związanego z emisją substancji niebezpiecznych – w pewnym zakresie, choć nie bezpośrednio do pomiarów – użyto bezzałogowych statków powietrznych (BSP). Wykorzystano je w szczególności do wykonania ortofotomapy terenu pożaru wraz ze zwymiarowaniem pryzm pozostałych po pożarze składowiska odpadów. Inwentaryzację na terenie pożaru odpadów oraz ogródków działkowych wykonano za pomocą BSP metodą fotogrametryczną. Urządzenie wykorzystane do pomiarów to wielowirnikowiec firmy DJI, model S1000+. Na BSP został zamontowany aparat Sony Alfa A7R z obiektywem Sony Zeiss Sonnar 35 mm, którego położenie było stabilizowane za pomocą gimbala Zenmuse. Prace terenowe obejmowały pozyskanie za pomocą BSP fotografii całego obszaru opracowania, a także pomiar fotopunktów klasycznymi metodami geodezyjnymi. Pomiarów terenowych z wykorzystaniem BSP zostały poprzedzone opracowaniem trasy lotów. Projektowanie misji fotogrametrycznych przeprowadzono przy uwzględnieniu specyfikacji użytego sprzętu oraz zakładanego rozmiaru piksela terenowego, który wynosił 10 mm dla obszaru składowiska odpadów i 15 mm dla obszaru ogródków działkowych. W związku z tym przy planowaniu nalołów przyjęto wysokość lotu BSP nad powierzchnią terenu dla składowiska odpadów 75 m, wysokość lotu BSP nad powierzchnią terenu dla obszaru ogródków działkowych – 100 m, pokrycie poprzeczne między zdjęciami w sąsiednich szeregach – minimum 65%, pokrycie podłużne między zdjęciami w szeregu – 80%. Plany lotów BSP dostosowano do charakteru badanego terenu i przygotowano, korzystając z oprogramowania DJI Ground Station.

Powyżej omówiono praktyczną aplikację jednej z możliwości, jaką daje użycie odpowiednio wyposażonych BSP w trakcie pożaru. Natomiast, poza klasycznym wykorzystaniem kamer RGB (ang. *Red Green Blue* – światła widzialnego), bezzałogowe statki powietrzne mogą być wykorzystywane do realizacji wielu innych zadań. Należy zwrócić uwagę, że przy obecnym zaawansowaniu technologii bezzałogowych, ich funkcjonalność i przydatność dla kierującego akcją gaśniczą zależy w znaczącej mierze od skuteczności zastosowanej aparatury i zamontowanych sensorów.

Na dzień dzisiejszy najczęściej używane wyposażenie dodatkowe BSP to kamery RGB wykorzystywane do monitoringu i tworzenia aktualnych ortofotomap terenu działań, kamery termowizyjne do

contamination and reduce the impact of hazardous substances on the environment.

The above examples do not exhaust the range of possibilities of using UAVs to monitor hazards related to fires in landfills. With the support of rescue and firefighting services in mind, CNBOP-PIB Drone Centre conducts research and analyses on the use of UAVs to measure and monitor air pollution with the use of modern measurement systems (sensors).

wyszukiwania pożarów ukrytych, zarzewi ognia itp. oraz czujniki substancji chemicznych do rozpoznawania skażenia powietrza i ograniczenia wpływu substancji niebezpiecznych na otoczenie.

Powyższe przykłady nie wyczerpują gamy możliwości w zakresie wykorzystania BSP do monitoringu zagrożeń związanych z pożarami składowisk odpadów. Mając na uwadze wsparcie służb ratowniczo-gaśniczych, w dziale Centrum Dronów CNBOP-PIB prowadzone są badania i analizy dotyczące zastosowania BSP do pomiaru i monitorowania zanieczyszczeń powietrza z wykorzystaniem nowoczesnych systemów pomiarowych (sensorów).

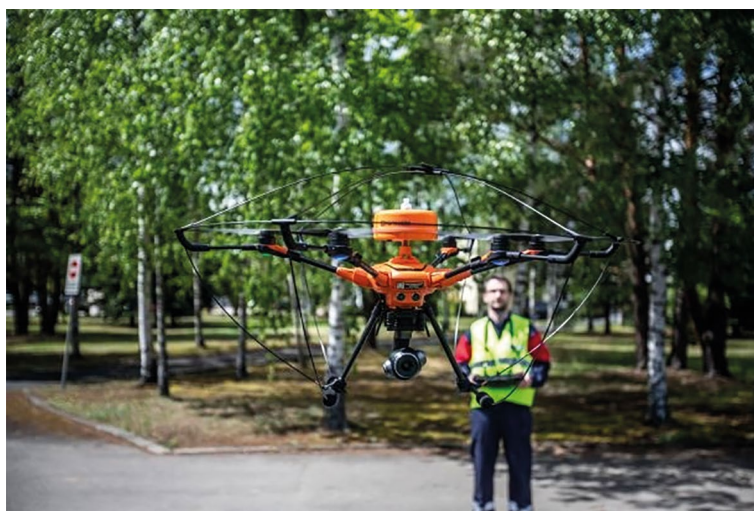


Figure 2. Yuneec H520 drone with a gas and dust measurement sensor Atmon FL Urban I used by CNBOP-PIB Drone Centre to carry out air quality measurements

Rycina 2. Dron Yuneec H520 z czujnikiem pomiaru gazów i pyłów Atmon FL Urban I używany przez Centrum Dronów CNBOP-PIB do realizacji pomiarów jakości powietrza

Source: CNBOP-PIB archive.

Źródło: Archiwum CNBOP-PIB.

An example of such activity can be, among others carrying out measurements with the use of specialized instruments at the Municipal Waste Treatment Plant of the Municipal Water Treatment Company in Toruń, where the concentrations of such compounds and substances as: NO_2 , SO_2 , H_2S , O_3 , $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} were remotely measured.

It seems that the air pollution measurement systems mentioned above will find more and more application, not only during landfill fires. They are usually configurable devices that enable the measurement of various chemicals and compounds. The obtained information, such as the type of substance, its concentration per unit time, measurement site and gas temperature, combined with meteorological data from a given area, can help in determining the risk zone, and the data collected in this way can be used to create models of dispersion of a given type of threat. As a consequence, such works in the long run will allow for even more precise determination of threats to people living in the immediate vicinity of a fire and their early elimination.

Another application of unmanned aerial vehicles that naturally comes to mind during the analysis of fires (especially

Przykładem takiej działalności może być m.in. przeprowadzenie pomiarów za pomocą specjalistycznych przyrządów w Zakładzie Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych Miejskiego Przedsiębiorstwa Oczyszczania w Toruniu, gdzie dokonano zdalnych pomiarów stężeń takich związków i substancji jak: NO_2 , SO_2 , H_2S , O_3 , $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} .

Wydaje się, że powyższe systemy pomiaru zanieczyszczenia powietrza będą znajdowały coraz szersze zastosowanie, nie tylko w trakcie pożarów składowisk odpadów. Są to urządzenia z reguły konfigurowalne, umożliwiające pomiar różnych substancji chemicznych i związków. Pozyskane informacje takie jak: rodzaj substancji, jej stężenie w jednostce czasu, miejsce pomiaru oraz temperatura gazów, połączone z danymi meteorologicznymi z danego obszaru mogą pomóc w określeniu strefy zagrożonej, a zebrane w ten sposób dane mogą być wykorzystane do stworzenia modeli rozprzestrzeniania się danego rodzaju zagrożenia. Takie prace w konsekwencji w dalszej perspektywie czasu pozwolą na jeszcze dokładniejsze określanie zagrożeń dla osób mieszkających w bezpośrednim otoczeniu pożaru i ich odpowiednio wczesną eliminację.

hidden fires) is the use of thermal imaging cameras. This technology is relatively expensive now, because a good-quality thermal imaging camera (with high resolution, refresh rate, measurement scale) costs tens of thousands of zlotys. The use of thermal imaging cameras in the event of landfill fires seems to be justified for many reasons. First of all, it allows for an accurate diagnosis of the situation, even in the event of dense smoke, which facilitates the accurate administration of extinguishing currents. An example of such use of a thermal imaging camera could be observed during a fire in a polystyrene warehouse in Manasterz near Jarosław on 16 December 2019 [17]. Similarly, in case of landfill fires, thermal imaging cameras could be used both in the initial phase of an extinguishing operation to provide more accurate extinguishing currents during a fire, and during extinguishing – to identify places that generate the possibility of a re-emergence of the hazard (e.g. hidden fires). In this way, it is possible to increase the effectiveness of the extinguishing action and reduce the consumption of extinguishing agents. Consequently, thanks to the effects of the use of thermal imaging cameras mentioned above, it is also possible to reduce the amount of harmful substances released into the environment, the time of emission into the atmosphere, and the amount of fire-fighting water that gets into the soil, as well as surface and subsurface waters.

Returning to the fire in question, the proper analysis of the hazards associated with the emission of hazardous substances included taking soil samples for testing in the places of waste piles after the fire, as well as representative waste samples for leachability tests and determining the content of heavy metals in the soil samples, the amount of PAHs in average soil samples (polycyclic aromatic hydrocarbons) and PCBs (polychlorinated biphenyls), as well as preparation of leachability tests [18] for waste samples taken after the fire. Tests of waste leaching were conducted in accordance with a Polish Standard PN-EN 12457-4:2006. The content of arsenic, cadmium, chromium, copper, mercury, molybdenum, nickel, lead, antimony, selenium and zinc as well as chlorides, sulphates, PAHs and PCBs was determined in the waste eluates [19]. Table 4 presents the content of metals in the soil samples collected from the gardens. Red colour indicates the exceedance of the limit values resulting from the Regulation of the Minister of the Environment of 1 September 2016 on the method of assessing the pollution of the earth's surface [16].

Analyses of PAH content in averaged soil samples (see Table 5) were performed by an accredited external laboratory Wessling. Red colour indicates the exceedance of the limit values resulting from the Regulation of the Minister of the Environment of 1 September 2016 on the method of assessing the pollution of the earth's surface [16].

Innym zastosowaniem bezzałogowych statków powietrznych, które naturalnie nasuwa się w trakcie analizy pożarów (szczególnie pożarów ukrytych) jest wykorzystanie kamer termowizyjnych. Jest to technologia obecnie stosunkowo droga, ponieważ dobrej jakości kamera termowizyjna (o wysokiej rozdzielczości, częstotliwości odświeżania obrazu, skali pomiaru) to koszt kilkudziesięciu tysięcy złotych. Wykorzystanie kamer termowizyjnych w przypadku pożarów składowisk odpadów wydaje się zasadne z wielu względów. Przede wszystkim pozwala na dokładne rozpoznanie sytuacji, nawet w przypadku wystąpienia gęstego dymu, co ułatwia dokładne podawanie prądów gaśniczych. Przykład takiego wykorzystania kamery termowizyjnej można było zaobserwować podczas pożaru magazynu styropianu w Manasterzu k/Jarosławia w dniu 16 grudnia 2019 roku [17]. Podobnie w przypadku pożarów składowisk, kamery termowizyjne mogłyby być wykorzystywane zarówno w początkowej fazie akcji gaśniczej do celniejszego podawania prądów gaśniczych w zarzewiach pożaru, jak i podczas dogaszania – do identyfikacji miejsc, które generują możliwość ponownego powstania zagrożenia (np. pożary ukryte). W ten sposób można zwiększyć skuteczność akcji gaśniczej oraz zmniejszyć zużycie środków gaśniczych. W konsekwencji, dzięki omówionym powyżej efektom wykorzystania kamer termowizyjnych, możliwe jest również ograniczenie ilości uwolnionych do otoczenia substancji szkodliwych, czasu emisji do atmosfery, ilości wód pogaśniczych przedostających się do gleby i wód powierzchniowych oraz podpowierzchniowych.

Wracając do rozpatrywanego pożaru, właściwa analiza zagrożeń związanych z emisją substancji niebezpiecznych obejmowała pobranie do badań próbek gleby w miejscach przy odpadach po pożarze, a także reprezentatywnych próbek odpadów do badań wymywalności i oznaczenia w próbkach gleby zawartości metali ciężkich, w uśrednionych próbkach glebowych ilości WWA (wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne) oraz PCB (polichlorowane bifenyle), a także sporządzenie testów wymywalności [18] dla pobranych próbek odpadów po pożarze. Badania wymywalności odpadów prowadzono zgodnie z Polską Normą PN-EN 12457-4:2006. W eluatach z odpadów oznaczono zawartość arsenu, kadmu, chromu, miedzi, rtęci, molibdenu, niklu, ołowiu, antymonu, selenu i cynku oraz chlorków, siarczanów, WWA i PCB [19]. W tabeli 4 przedstawiono zawartość metali w pobranych próbkach glebowych z terenów ogródków działkowych. Kolorem czerwonym zaznaczono przekroczenie wartości dopuszczalnych wynikających z rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi [16].

Analizy zawartości WWA w uśrednionych próbkach glebowych (zob. tab. 5) zostały wykonane przez akredytowane laboratorium zewnętrzne firmy Wessling. Kolorem czerwonym zaznaczono przekroczenie wartości dopuszczalnych wynikających z rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi [16].

Table 4. Metal content in averaged soil samples D1–D3 collected from gardens and playgrounds, mg/kg**Tabela 4.** Zawartość metali w uśrednionych próbkach glebowych D1–D3 pobranych z ogródków działkowych i placu zabaw, mg/kg

Determined metals / Oznaczone metale	Metal content in the samples [mg/kg] / Zawartość metali w próbkach [mg/kg]			Limit values for group II-1 (gardens) / Wartości dopuszczalne dla grupy II-1 (ogródki działkowe)	Limit values for group I (recreational areas) / Wartości dopuszczalne dla grupy I (tereny rekreacyjne)
	D1 Gardens / D1 Ogródki	D2 Gardens / D2 Ogródki	D3 Playgrounds / D3 Plac zabaw		
As	5,48	23,40	6,53	10	25
Pb	258,27	407,97	311,70	100	200
Cu	39,66	105,42	38,70	100	200
Ni	5,45	11,43	5,99	100	150
Cd	6,32	15,62	5,81	2	2
Cr	11,39	13,64	10,71	150	200
Co	< 5	< 5	< 5	20	50
Zn	885,38	1702,99	611,26	300	500
Sn	< 10	< 10	< 10	10	20
Mo	0,79	0,85	0,58	10	50
Hg	0,107	0,213	0,07	2	5

Source: Report on the testing of ashes and residues after incineration of waste from the landfill in Trzebinia [20].**Źródło:** Raport z badań popiołów i pozostałości po spaleniu odpadów z terenu składowiska w Trzebinii [20].**Table 5.** PAH content in averaged soil samples from gardens and playgrounds, mg/kg**Tabela 5.** Zawartość WWA w uśrednionych próbkach glebowych z ogródków działkowych i placu zabaw, mg/kg

Name of the tested substance / Nazwa badanej substancji	Substance content in samples [mg/kg] / Zawartość substancji w próbkach [mg/kg]			Limit values for group II-1 / Wartości dopuszczalne dla grupy II-1	Limit values for group I / Wartości dopuszczalne dla grupy I
	D1	D2	D3		
Naftalen	<0,005	<0,005	<0,005	0,1	0,1
Antracen	0,039	0,031	0,087	0,2	0,2
Chryzen	0,201	0,203	0,448	0,2	0,2
Benzo(a)antracen	0,144	0,142	0,359	0,1	0,1
Dibenzo(a,h)antracen	0,037	0,033	0,075	0,1	0,1
Benzo(a)piren	0,185	0,169	0,360	0,1	0,1
Benzo(b)fluoranten	0,212	0,203	0,415	0,1	0,1
Benzo(k) fluoranten	0,195	0,185	0,399	0,1	0,1
Benzo(g,h,i)peryle	0,142	0,129	0,261	0,2	0,2
Indeno(1,2,3-c,d)pire	0,144	0,132	0,251	0,2	0,2
Sum of detected PAHs / Suma wykrytych WWA	1,3	1,23	2,66		

Source: Report on the testing of ashes and residues after incineration of waste from the landfill in Trzebinia [20].**Źródło:** Raport z badań popiołów i pozostałości po spaleniu odpadów z terenu składowiska w Trzebinii [20].

Tables 4 and 5 highlight the exceedances of the limit values resulting from the regulation [16]. For zinc, lead and cadmium, the limit values were exceeded in all the collected soil samples. For copper, a slight exceedance of the limit value was found only in sample D2. Exceedances of the permissible values of some PAH compounds were found in all soil samples. However, much higher PAH concentrations were found in the samples from the playground. PAH compounds are degraded under the influence of soil microorganisms (this is one of the methods of reclamation of soil contaminated with petroleum compounds), therefore it could be assumed that due to the richness of microbial life in soils in horticultural areas, the degree of decomposition of PAH compounds was much faster than in uncultivated areas. The source of PAHs in soils in gardens and playgrounds could not be unequivocally determined. This source could have been the production activity of Trzebinia Refinery, a recent fire in a landfill and low emissions from burning fossil fuels (mainly coal) for heating single-family houses in winter. 7 samples (W1–W7) from the near-surface layer were collected from the landfill area. These samples were air-dried and, according to the regulation of the Minister of the Environment [16], were classified as group IV (industrial areas). The metal content was determined using a Hitachi Z-2000 atomic absorption spectrometer. The test results are presented in Table 6.

W tabelach 4 i 5 wyróżniono wynikające z rozporządzenia [16] przekroczenia wartości dopuszczalnych. Dla cynku, ołowiu i kadmu stwierdzono przekroczenie wartości dopuszczalnych we wszystkich pobranych próbkach gleby. Dla miedzi stwierdzono niewielkie przekroczenie wartości dopuszczalnej jedynie w próbce D2. Przekroczenia dopuszczalnych wartości niektórych związków WWA stwierdzono we wszystkich próbkach glebowych. Przy czym znacznie wyższe stężenia WWA występowały w próbkach pochodzących z placu zabaw. Związki WWA ulegają degradacji pod wpływem mikroorganizmów glebowych (jest to jedna ze stosowanych metod rekultywacji gruntów zanieczyszczonych związkami ropopochodnymi), dlatego można było przyjąć, że ze względu na bogactwo życia mikrobiologicznego w glebach na terenach wykorzystywanych ogrodniczo stopień rozkładu tych związków WWA był znacznie szybszy niż na terenach nieuprawnych. Nie można było też jednoznacznie określić źródła pochodzenia WWA w glebach na terenach ogródków działkowych i placu zabaw. Źródłem tym mogła być działalność produkcyjna Rafinerii Trzebinia, niedawny pożar składowiska odpadów oraz niska emisja pochodząca ze spalania paliw kopalnych (głównie węgla) do celów ogrzewania domów jednorodzinnych w okresie zimowym. Z terenu składowiska pobrano 7 próbek (W1–W7) z warstwy przypowierzchniowej. Pobrane próbki nie były próbkami czysto glebowymi ani czysto gruntowymi i stanowiły mieszaninę gruntu rodzimego, gruntu nawiezonego (do utwardzenia powierzchni), popiołów po spaleniu odpadów i samych odpadów. Próbki te wysuszono do stanu powietrznie suchego i wg rozporządzenia Ministra Środowiska [16] zakwalifikowano do grupy IV (tereny przemysłowe). Zawartość metali oznaczono przy użyciu spektrometru absorpcji atomowej firmy Hitachi Z-2000. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 6.

Table 6. Metal content in the soil samples W1-W7 collected from the landfill, mg / kg
Tabela 6. Zawartość metali w próbach gruntu W1–W7 pobranych ze składowiska odpadów, mg/kg

Determined metals / Oznaczone metale	Metal content in the samples [mg/kg] / Zawartość metali w próbach [mg/kg]							Limit values for group IV / Wartości dopuszczalne dla grupy IV
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	
As	302,82	5,25	280,16	11,20	28,80	15,19	24,53	100
Pb	1736,29	207,38	9086,69	584,00	561,51	235,10	31,17	600
Cu	404,09	311,03	845,20	111,59	186,12	354,94	149,24	600
Ni	26,26	24,39	28,02	42,82	66,14	29,84	58,62	500
Cd	35,69	5,21	29,44	3,66	5,77	5,21	0,70	15
Cr	106,31	122,14	52,94	375,80	326,95	70,58	610,77	1000
Co	10,83	< 5	11,16	< 5	21,08	22,54	8,44	200
Zn	8317,76	759,52	9177,63	1788,51	4379,00	6244,46	216,48	2000
Sn	< 10	< 10	< 10	50,15	< 10	< 10	< 10	350
Mo	2,33	5,76	2,67	8,39	3,47	4,86	2,83	250

Source: Report on the testing of ashes and residues after incineration of waste from the landfill in Trzebinia [20].
Źródło: Raport z badań popiołów i pozostałości po spaleniu odpadów z terenu składowiska w Trzebini [20].

Similarly to the soil samples from the gardens, the limit values for Zn, Pb, Cd and additionally As were exceeded for the soil samples collected from the landfill area. Exceedances of the content of these metals were shown only in some samples. The results obtained for individual samples were very diverse. As the exceedances were detected for the same metals as in the case of the garden samples, it was found that the source of their origin could be previous industrial activity in the area (a foundry in the present landfill and a metallurgical plant in close proximity).

Podobnie jak dla próbek glebowych pochodzących z terenu ogródków działkowych, dla próbek gruntu pobranych z terenu składowiska stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych zawartości dla Zn, Pb, Cd i dodatkowo As. Przekroczenia zawartości tych metali wykazano tylko w niektórych próbkach. Wyniki uzyskane dla poszczególnych próbek były bardzo zróżnicowane. Ponieważ przekroczenia wykryto dla tych samych metali jak w przypadku próbek z ogródków działkowych, stwierdzono, że źródłem ich pochodzenia mogła być wcześniejsza działalność przemysłowa na tym terenie (odlewnia na terenie obecnego składowiska odpadów oraz zakład metalurgiczny w bliskiej odległości).



Figure 3. Photograph of the area during a fire in the landfill in Trzebinia
Rycina 3. Zdjęcie terenu w trakcie pożaru składowiska w Trzebini

Source: Photo by Paweł Ludwikowski.

Źródło: Fot. Paweł Ludwikowski.

In addition to the analysis of the soil samples and waste discussed above, on 27 May at 11.30 WIOŚ began measuring the air condition in inhabited areas, located closest to the place of the fire (in the penitentiary facility, near the penitentiary facility, in the rescue base located at the fire site, at the hospital in Trzebinia and in the residential area). The measurements were made with Rapid mobile spectrophotometer, which can detect 97 substances, including aromatic compounds such as benzene, phenol or toluene and other their derivatives, as well as a large group of other harmful substances, such as hydrogen cyanide, sulphur dioxide, ammonia, nitric acid. Each set consists of a base vehicle with an aluminium container. Each car is also equipped with a portable RAPID contamination detector (Fourier transform infrared spectrometer (FTIR), used to detect chemical contamination over a long distance), Irdam weather station, Gatec B300 G5 Basic computer with a docking station and a power generator, Dometic TEC 30EV, which protects the system operation in the field. The Rapid mobile spectrophotometer was included in the equipment of some Specialist Chemical and Ecological Rescue Groups, as well as provincial Environmental Protection Inspectorates [20].

The tests did not reveal the presence of hazardous substances. On 28 May the measurements were repeated and the research covered areas to which the wind carried the fumes

Oprócz omówionej powyżej analizy próbek gleby oraz odpadów w dniu 27 maja o godz. 11.30 WIOŚ rozpoczął prowadzenie pomiarów stanu powietrza atmosferycznego w rejonach zamieszkałych, zlokalizowanych najbliżej miejsca pożaru (na terenie zakładu karnego, przy zakładzie karnym, w bazie ratownictwa zlokalizowanej przy miejscu pożaru, przy szpitalu w Trzebini oraz na terenie zabudowy mieszkaniowej).

Pomiary wykonano spektrofotometrem mobilnym Rapid, który posiada możliwości wykrycia 97 substancji, w tym zarówno związków aromatycznych, takich jak benzen, fenol czy toluen i inne ich pochodne, jak też dużej grupy innych szkodliwych substancji, takich jak cyjanowódz, dwutlenek siarki, amoniak, kwas azotowy. Każdy zestaw składa się z pojazdu bazowego wraz z kontenerem aluminiowym. Na wyposażeniu każdego samochodu znajduje się także przenośny detektor skażeń RAPID (spektrometr pracujący w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR), służący do detekcji skażeń chemicznych na dużą odległość), stacja meteo Irdam, komputer Gatec B300 G5 Basic ze stacją dokującą oraz agregat prądowórczy, Dometic TEC 30EV, który zabezpiecza pracę systemu w terenie. Spektrofotometr mobilny Rapid został włączony do wyposażenia niektórych Specjalistycznych Grup Ratownictwa Chemiczno-Ekologicznego, jak również wojewódzkich Inspektoratów Ochrony Środowiska [20].

emitted into the environment. It was the area of Piła Kościelecka and the area of the penitentiary. Again, the tests did not show the presence of harmful substances. WIOŚ did not measure air pollution in the fire zone [21].

Summary and conclusions

The results of the above measurements of the atmosphere (presented in the Tables) seem to confirm the fact that usually landfill fires do not pose a direct threat to the lives of local residents. Nevertheless, it would be unjustified to speak in this case about the complete absence of any health risk. It can be presumed that the harmful components of smoke and fire gases, especially under favourable weather conditions, disperse relatively quickly. However, at the end, in a greater or lesser concentration, they end up in the surrounding environment. On the other hand – as the discussed measurements showed – larger amounts of harmful substances end up in the natural environment, getting into the soil, surface and ground waters together with the extinguishing waters.

Therefore, it is necessary to undertake systemic actions aimed at preventing the formation and spread of pollutants during fires. This can be achieved by the amended provisions in the field of waste management, including those included in the Act on waste [7], concerning the introduction of stricter concession requirements, related to the following issues:

- no criminal record of the applicant,
- legal title to the planned waste storage or processing place,
- carrying out video monitoring of the place of storage or storage of waste,
- financial security for possible claims, e.g. in the form of a bank guarantee or insurance policy.

The framework mentioned above also covers fire protection requirements. They included in particular:

- the obligation to develop a fire protection survey by competent persons and then agree with the competent authority of the State Fire Service,
- the obligation for the locally competent commander of the powiat (city) State Fire Service to inspect the places of collection and storage [21].

Findings made in the course of the activities mentioned above are submitted to a competent authority before the authority issues a decision on granting or refusing to grant a license.

The statutory requirements mentioned above are complemented by the provisions set out in the regulation of the Minister of Interior and Administration on fire protection requirements to be met by construction structures or their parts and other places intended for the collection, storage or processing of waste [22]. It is assumed that the requirements in question are to prevent the emergence and spread of fires in the said facilities on the same scale as before. These include:

- maintaining appropriate distances between landfills and other facilities,

Badania nie wykazały obecności substancji niebezpiecznych. W dniu 28 maja pomiary powtórzone i badaniami objęto tereny, na które wiatr przenosił emitowane do środowiska dymy. Był to rejon Piły Kościeleckiej i teren zakładu karnego. Ponownie badania nie wykazały obecności szkodliwych substancji. WIOŚ nie dokonywał pomiarów zanieczyszczenia powietrza w strefie pożaru [21].

Podsumowanie i wnioski

Wyniki powyższych pomiarów atmosfery (przedstawione w tabelach) zdają się potwierdzać fakt, że zazwyczaj pożary składowisk odpadów nie stwarzają bezpośredniego zagrożenia dla życia okolicznych mieszkańców. Mimo to mówienie w tym przypadku o całkowitym braku zagrożenia dla zdrowia byłoby nieuzasadnione. Można domniemywać, że szkodliwe składniki dymu i gazów pożarowych, szczególnie przy sprzyjających warunkach atmosferycznych, ulegają relatywnie szybkiej dyspersji. Jednak finalnie w mniejszym lub większym stężeniu trafiają one do otaczającego nas środowiska. Natomiast – jak wykazały omówione pomiary – większe ilości szkodliwych substancji trafiają do środowiska naturalnego, przedostając się do gleby, wód powierzchniowych i podziemnych wraz z wodami gaśniczymi.

W związku z powyższym konieczne jest podejmowanie systemowych działań ukierunkowanych na zapobieganie powstawaniu oraz rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń w trakcie pożarów. Temu celowi mają służyć znowelizowane przepisy z zakresu gospodarki odpadami, w tym ujęte w ustawie o odpadach [7], dotyczące m.in. wprowadzenia zaostrzonych wymagań koncesyjnych, odnoszących się do kwestii:

- niekaralności wnioskodawcy,
- tytułu prawnego do planowanego miejsca magazynowania lub przetwarzania odpadów,
- prowadzenia monitoringu wizyjnego miejsca magazynowania lub składowania odpadów,
- finansowego zabezpieczenia ewentualnych roszczeń, np. w postaci gwarancji bankowej lub polisy ubezpieczeniowej.

W powyższych ramach ujęto także wymagania z zakresu ochrony przeciwpożarowej. Znalazły się w nich w szczególności:

- obowiązek opracowania przez kompetentne osoby, a następnie uzgodnienia z właściwym organem Państwowej Straży Pożarnej operatu ochrony przeciwpożarowej,
- obowiązek przeprowadzenia przez właściwego miejscowo komendanta powiatowego (miejskiego) PSP kontroli miejsc składowania lub magazynowania [21].

Ustalenia dokonane w trakcie powyższych czynności przedkładane są do właściwego organu przed wydaniem przez ten organ decyzji o udzieleniu lub odmowie udzielenia koncesji.

Dopełnieniem omówionych powyżej wymogów ustawowych są przepisy określone w rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie wymagań w zakresie ochrony przeciwpożarowej, jakie mają spełniać obiekty budowlane lub ich części oraz inne miejsca przeznaczone do zbierania, magazynowania lub przetwarzania odpadów [22]. W założeniach przedmiotowe wymogi mają przeciwdziałać powstawaniu i rozprzestrzenianiu się pożarów w omawianych

- ensuring the effective division of the considered objects into fire zones, e.g. by maintaining appropriate distances between individual piles of stored waste, or by making fire separation walls of an appropriate class in order to reduce the area of possible fires,
- provide access to these zones for fire teams in a manner that enables effective extinguishing operations,
- permissible amounts and methods of waste disposal in various states of aggregation,
- equipping facilities with fire-fighting devices and fire extinguishers,
- equipping facilities with water for fire-fighting purposes,
- fire safety instructions.

It will be possible to talk about the measurable, long-term effects of the above provisions – in practice only being implemented – in a while. Much in this respect will depend on effective supervision over their compliance, which will not be easy – as experience has shown so far.

Nevertheless, the first positive indications can already be observed. One of them is the decline in the number of landfill fires in the last two years. With the apogee of 243 fires in 2018 mentioned in the introduction, the data of the State Fire Service of the State Fire Service for 2019 (177 fires) and for 2020 (111 fires) can be rather optimistic. For this positive trend to continue, systemic actions in the area of effective enforcement of the introduced legal requirements should be continued. Despite these measures if a fire does occur, focus should be placed on the most effective method of extinguishing it. In this context, improvement of procedures, techniques and tools for monitoring and measurement related to the emission of these substances may bring measurable benefits [23]. In the opinion of the authors, many new opportunities in this respect are opening up together with the possibility of using e.g. properly equipped unmanned aerial vehicles, software for rapid analysis and visualization on maps of danger zones for these activities.

obiektach na taką skalę jak dotychczas. Obejmują one kwestie:

- zachowania odpowiednich odległości składowisk od innych obiektów,
- zapewnienia skutecznego podziału rozpatrywanych obiektów na strefy pożarowe, np. poprzez zachowanie odpowiednich odległości pomiędzy poszczególnymi pryzmami składowanych odpadów, czy wykonanie ścian oddzielenia przeciwpożarowego odpowiedniej klasy, w celu ograniczenia powierzchni ewentualnych pożarów,
- zapewnienia dostępu do tych stref dla ekip pożarniczych w sposób umożliwiający prowadzenie skutecznych działań gaśniczych,
- dopuszczalnych ilości oraz sposobów składowania odpadów w różnych stanach skupienia,
- wyposażenia obiektów w urządzenia przeciwpożarowe i gaśnice,
- zaopatrzenia w wodę do celów przeciwpożarowych,
- instrukcji bezpieczeństwa pożarowego.

O wymiernych, długofalowych efektach powyższych przepisów – w praktyce dopiero wdrażanych w życie – będzie można mówić za jakiś czas. Wiele w tym względzie będzie zależało od skutecznego nadzoru nad ich przestrzeganiem, o co – jak pokazują dotychczasowe doświadczenia – nie będzie łatwo.

Niemniej pierwsze pozytywne symptomy można już zaobserwować. Jednym z nich jest spadek liczby pożarów składowisk odpadów w ostatnich dwóch latach. Przy wspomnianym na wstępie apogeum 243 pożarów w 2018 r., dane Komendy Głównej PSP za 2019 r. (177 pożarów) oraz za 2020 r. (111 pożarów) dają podstawę do pewnej dozy optymizmu. Aby ten pozytywny trend się utrzymał, należy kontynuować systemowe działania w obszarze skutecznego egzekwowania wprowadzonych wymagań prawnych. W przypadku, gdy mimo tych działań do pożaru dojdzie, należy skoncentrować się na jak najbardziej skutecznym jego ugaszeniu. W tym kontekście wymierne korzyści może przynieść doskonalenie procedur, technik i narzędzi w zakresie monitorowania i pomiarów związanych z emisją wspomnianych substancji [23]. W opinii autorów wiele nowych szans w tym zakresie otwiera się wraz z możliwością wykorzystania do działań m.in. odpowiednio wyposażonych bezzałogowych statków powietrznych, oprogramowania do szybkiej analizy i wizualizacji na mapach stref zagrożenia.

Literature / Literatura

- [1] Keles R., *The Quality of Life and the Environment*, „Procedia – Social and Behavioral Sciences” 2012, 35, 23–32, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.02.059>.
- [2] Costantini V., Monni S., *Environment, human development and economic growth*, „Ecological Economics” 2008, 64, 4, 867–880, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.011>.
- [3] Janik P., Cygańczuk K., *Bezpieczeństwo środowiskowe a uregulowania prawne w gospodarce odpadami*, „Przemysł Chemiczny” 2020, 99, 970–976, <https://doi.org/10.15199/62.2020.7.1>.
- [4] Białowicz J. S., Rogula-Kozłowska W., Krasuski A., *Contribution of landfill fires to air pollution – An assessment methodology*, „Waste Management” 2021, 125, 182–191, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.046>.
- [5] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz

- uchylająca niektóre dyrektywy (tekst mający znaczenie dla EOG), (Dz. U. UE L 312, z 22.11.2008).
- [6] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r., zmieniająca dyrektywę 2008/98 WE w sprawie odpadów (tekst mający znaczenie dla EOG) Dz.U. UE. L. 2018.150.109 z 14 czerwca 2018 r.
- [7] Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju, Programowanie perspektywy finansowej 2014–2020 – Umowa Partnerstwa, https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/media/881/Umowa_Partnerswa_pl.pdf [dostęp: 18.05.2021].
- [8] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. 2013, poz. 21 z późn. zm.).
- [9] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz. U. 2020, poz. 1219 z późn. zm.).
- [10] Rudnicki M., *Prawne i ekonomiczne dylematy zrównoważonego rozwoju w dobie ogólnoświatowego kryzysu*, „Przegląd Prawa Ochrony Środowiska” 2009, 2, 123–135.
- [11] Boć J., Samborska-Boć E., *Ochrona środowiska. Zagadnienia prawne i ekonomiczne*, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław 1989.
- [12] Janik P., Cygańczuk K., *Bezpieczeństwo środowiskowe a uregulowania prawne w gospodarce odpadami*, „Przemysł Chemiczny” 2020, 99, 7, 970–975, <https://doi.org/10.15199/62.2020.7.1>.
- [13] Cygańczuk K., Zielecka M., Rabajczyk A., *Zasady bezpiecznej gospodarki odpadami jako czynnik bezpieczeństwa środowiskowego*, „Przemysł Chemiczny” 2020, 99, 7, 994–999, <https://doi.org/10.15199/62.2020.7.5>.
- [14] Matusiak T., *Pożar jak hydra*, „Przegląd Pożarniczy” 2018, 7, 10–12.
- [15] Komunikat nr 1 z dnia 12.06.2018 dot. wyników pomiarów wpływu pożaru magazynu odpadów na terenie b. zakładów „BORUTA” w Zgierz na jakość wód powierzchniowych, <https://www.ekologicznyzgierz.pl/pl/content/komunikat-wios-z-dn-12062018-r> [dostęp: 18.05.2021].
- [16] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz. U. 2016, poz. 1395).
- [17] Zboina J., Zawistowski M., Sowa T., *Ocena jakości powietrza z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych*, „Przemysł Chemiczny” 2020, 99, 7, 988–993, <https://doi.org/10.15199/62.2020.7.4>.
- [18] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i pracy z dnia 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz. U. 2005. poz. 1553).
- [19] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach (Dz. U. z 2015 r. poz. 1277).
- [19] <https://strazacki.pl/technika/rapid-w-s%C5%82u%C5%B4-Cbie-ppsp> [dostęp:18.05.2021].
- [20] Raport z badań popiołów i pozostałości po spaleniu odpadów z terenu składowiska w Trzebini przy ul. Słowackiego oraz badań gleby na terenie pobliskich ogródków działkowych, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków 2018.
- [21] Janik P., *Pałący problem*, „Przegląd Pożarniczy” 2018, 7, 13–15.
- [22] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 19 lutego 2020 r. w sprawie wymagań w zakresie ochrony przeciwpożarowej, jakie mają spełniać obiekty budowlane lub ich części oraz inne miejsca przeznaczone do zbierania, magazynowania lub przetwarzania odpadów (Dz. U. z 2020 r. poz. 296).
- [23] Janik P., Cygańczuk K., *Systemy pomiarowe wykorzystywane w bezzałogowych statkach powietrznych do badania jakości powietrza*, „Przemysł Chemiczny” 2020, 99, 7, 977–981, <https://doi.org/10.15199/62.2020.7.2>.

KRZYSZTOG CYGAŃCZUK, PH.D. ENG. – he completed his master’s studies at the University of Szczecin and doctoral studies at the War Art Academy in Warsaw, as well as postgraduate studies in foreign service at the National Defense Academy, data protection and information security at the Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw and crisis management at NATO Defense Collage (Rome) and NATO School (Oberammergau). He is an assistant professor at the Department of Studies and Scientific Projects at CNBOP-PIB in Józefów. Specjalty – environmental engineering, safety science.

ST. BRYG. PAWEŁ JANIK, PH.D. ENG. – he completed his master’s studies at the Main School of Fire Service in Warsaw and doctoral studies at the Poznań University of Economics (now Poznań University of Economics), as well as post-graduate studies in IT at the Lodz University of Technology and crisis management at the Central School of the Fire Service. Since 2018, he has been the director of CNBOP-PIB. Specjalty: safety science.

DR INŻ. KRZYSZTOF CYGAŃCZUK – ukończył studia magisterskie na Uniwersytecie Szczecińskim oraz studia doktoranckie w Akademii Sztuki Wojennej w Warszawie, a także studia podyplomowe z zakresu służby zagranicznej w Akademii Obrony Narodowej, ochrony danych i bezpieczeństwa informacji na Uniwersytecie Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie oraz zarządzania kryzysowego w NATO Defence Collage (Rzym) i NATO School (Oberammergau). Jest adiunktem w Dziale Prac Studialnych i Projektów Naukowych w CNBOP-PIB w Józefowie. Specjalność – inżynieria środowiska, nauki o bezpieczeństwie.

ST. BRYG. DR INŻ. PAWEŁ JANIK – ukończył studia magisterskie w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie oraz studia doktoranckie w Akademii Ekonomicznej w Poznaniu (obecnie Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu), a także studia podyplomowe z zakresu informatyki na Politechnice Łódzkiej oraz zarządzania kryzysowego w SGSP. Od 2018 r. jest dyrektorem CNBOP-PIB. Specjalność: nauki o bezpieczeństwie.