

Ryszarda IWANEJKO¹
Agnieszka GENEROWICZ²

KLASYFIKACJA PRZYCZYN POŻARÓW I OCENA RYZYKA ICH WYSTĘPOWANIA W OBIEKTACH GOSPODARKI ODPADAMI KOMUNALNYMI W ASPEKCIE STRAT EKONOMICZNYCH, EKOLOGICZNYCH I SPOŁECZNYCH

Pożary i zapłony w technologiach gospodarki odpadami to ostatnio często występujące zjawiska. W Polsce dotychczas nie klasyfikowano przyczyn powstawania pożarów w takich instalacjach, chociaż potencjalnie stanowią one zagrożenie ze względu na prowadzoną działalność oraz rodzaj przetwarzanego łatwopalnego surowca. W pracy podjęto próbę klasyfikacji przyczyn powstawania pożaru w obiektach gospodarki odpadami. Na podstawie zaistniałych zdarzeń pożarowych prześledzono ich przyczyny i skutki. Znajomość typowych scenariuszy takich zdarzeń może pomóc w wyeliminowaniu ich przyczyn oraz ułatwić przeprowadzenie odpowiednich analiz ryzyka. Zasadniczym celem oceny ryzyka jest dostarczenie racjonalnych podstaw do podejmowania wyważonych decyzji dotyczących danego systemu. Pierwszym etapem oceny ryzyka jest tzw. identyfikacja zagrożeń, czyli określenie zdarzeń i sytuacji, które w przyszłości mogą się stać przyczyną pożaru. Kolejnym etapem jest szacowanie ryzyka, czyli proces wyznaczenia jego miary. W przypadku pożaru obiektu gospodarki odpadami miary mogą się odnosić do dóbr materialnych, zdrowia i życia ludzi, zagrożeń środowiskowych (np. w przypadku spalenia się odpadów niebezpiecznych), utraty miejsc pracy. W zależności od posiadanych informacji można stosować różne metody: ilościowe, jakościowe oraz ilościowo-jakościowe. Po wyznaczeniu ryzyka należy go odnieść do przyjętych wcześniej kryterialnych poziomów dopuszczalności. W rezultacie dokonania oceny ryzyka mogą być przedsięwzięte odpowiednie działania zapobiegawcze polegające na redukcji ryzyka pożaru, jego kontrolowaniu i minimalizacji.

Słowa kluczowe: odpady komunalne, gospodarka odpadami, instalacje gospodarki odpadami, pożary w instalacjach, skutki pożarów, zarządzanie ryzykiem, miary ryzyka

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Ryszarda Iwanejko, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel. 12 6282552, riw@vistula.wis.pk.edu.pl

² Agnieszka Generowicz, Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

Powstawanie odpadów jest problemem globalnym, chociaż dotyczy głównie krajów bogatych i wysokorozwiniętych. Wraz z rozwojem cywilizacyjnym zwiększa się ilość oraz różnorodność produkowanych odpadów. W ostatnich latach rozwój gospodarczy, jak i postęp techniczny spowodowały, że globalnie wytwarzanych jest coraz to więcej odpadów.

W celu redukcji zarówno ilości, jak i szkodliwego charakteru wszelkich strumieni odpadów komunalnych i przemysłowych kraje Unii Europejskiej wypracowały strukturę postępowania z odpadami, zgodną z zasadami zrównoważonego rozwoju zapisaną w przepisach prawa UE jako hierarchię postępowania z nimi: [1]:

- zapobieganie powstawania odpadów „u źródła”,
- przygotowanie do ponownego użycia,
- recykling i wykorzystanie materiałów użytkowych,
- inne metody odzysku, np. spalanie z odzyskiem energii lub bez,
- ostateczne unieszkodliwianie pozostałości po przetworzeniu.

Utworzona w przepisach prawa struktura postępowania z odpadami ma na celu jak największą redukcję masy odpadów przy jednoczesnym zmniejszeniu ich szkodliwego charakteru. Aby to osiągnąć, konieczne jest tworzenie dużych systemów oraz budowa technologii i rozwój technik, które zrealizują zadania odzysku, recyklingu i unieszkodliwiania powstałych odpadów przy jednoczesnym zachowaniu bezpieczeństwa środowiskowego, opłacalności ekonomicznej oraz jak największej akceptacji społecznej [2, 3].

Budowa i eksploatacja technologii gospodarki odpadami wymaga ogromnej odpowiedzialności nie tylko w zakresie przetwarzania odpadów, ale również ich bezpiecznej budowy i eksploatacji. Projektowanie i zabezpieczenie tego rodzaju technologii przed różnego rodzaju awariami stanowi niezwykle istotny aspekt środowiskowy przede wszystkim ze względu na rodzaj surowca przetwarzanego w tych instalacjach. Przetwarzane są tam głównie odpady zmieszane, ale wśród nich mogą się znaleźć również odpady niebezpieczne, np. lampy fluorescencyjne (światówki, rtęciówki itp.), akumulatory, baterie, przepracowane oleje, filtry olejowe, paliwowe i powietrzne, detergenty, odczynniki fotograficzne, przeterminowane lekarstwa, środki ochrony roślin, rozpuszczalniki, farby i lakiery, zużyte urządzenia elektryczne i elektroniczne. Pożar w takiej instalacji to przede wszystkim zagrożenie dla pracowników, zagrożenie dla środowiska naturalnego poprzez powstanie tzw. odpadów wtórnych po pożarze, zagrożenie dla gleb i wód gruntowych, straty w faunie i florze, ale również straty społeczno-gospodarcze związane ze stratą instalacji przetwarzającej odpady w danym regionie, utrata pracy przez pracowników, koszty ich ubezpieczeń itp. Szkodliwe skutki mogą dotyczyć również mieszkańców okolicznych osiedli i miejscowości czy osób, które przypadkowo znalazły się na danym terenie.

Celem pracy jest podjęcie próby klasyfikacji przyczyn powstawania pożaru w różnych obiektach gospodarki odpadami (zarówno takich, które zajmują się odzyskiem i recyklingiem, jak również tych, które zajmują się ich unieszkodliwianiem), przedstawienie poszczególnych etapów procesu zarządzania ryzykiem oraz zaprezentowanie wybranych przykładów aplikacji.

2. Pożary jako awarie technologii

Pożary wszelkiego typu instalacji to zdarzenia o znamionach poważnej awarii. Źródłami zdarzeń o znamionach poważnej awarii mogą być:

- 1) procesy przemysłowe i magazynowanie substancji niebezpiecznych w zakładach mogących być źródłem awarii, w tym w zakładach
 - o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej, tzw. zakładach o dużym ryzyku (ZDR) [3, 22, 23, 24],
 - o zwiększonym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej, tzw. zakładach o zwiększonym ryzyku (ZZR),
 - innych (ZI), w których działalność może spowodować poważną awarię spełniającą każde z kryteriów dla awarii, określonych w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 30 grudnia 2002 r. w sprawie poważnych awarii objętych obowiązkiem zgłaszania do Głównego Inspektora Ochrony Środowiska (Dz. U. 2003. 5. 58),
- 2) procesy przemysłowe i magazynowanie substancji niebezpiecznych w zakładach nienależących do wymienionych grup,
- 3) wypadki w transporcie materiałów niebezpiecznych.

Kryterium kwalifikacji zakładu do kategorii ryzyka ZDR i ZZR stanowi ilość i jakość substancji niebezpiecznych na etapie produkowania, przetwarzania bądź ich magazynowania. Wyróżnia się substancje niebezpieczne: bardzo toksyczne, toksyczne, utleniające, wybuchowe, łatwopalne, wysoce łatwopalne, skrajnie łatwopalne oraz niebezpieczne dla ludzi i środowiska. Dla ZDR i ZZR zlokalizowanych w niewielkiej odległości od siebie ze względu na zwiększone prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń awaryjnych i ewentualne kumulowanie się ich skutków możliwe jest nałożenie dodatkowych, ostrzejszych kryteriów [22, 24].

Kryterium kwalifikacji zakładu do kategorii ZI stanowi występowanie na jego terenie substancji niebezpiecznych w ilości równej co najmniej 5% ilości, której posiadanie kwalifikuje zakład do grupy zakładów o dużym ryzyku wystąpienia awarii przemysłowej zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 10 października 2013 r. w sprawie rodzajów i ilości substancji niebezpiecznych, których znajdowanie się w zakładzie decyduje o zaliczeniu go do zakładu o zwiększonym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej (Dz.U. 2013. 1479).

W instalacjach i technologiach gospodarki odpadami, których celem funkcjonowania jest właśnie ochrona środowiska naturalnego, w sposób szczególnie

powinno się zwracać uwagę na dbałość o te aspekty, zwłaszcza że pożar takiej technologii ma znaczące i długotrwałe negatywne efekty technologiczne, środowiskowe i ekonomiczno-społeczne.

3. Przykłady pożarów w instalacjach gospodarki odpadami

Analizując liczne przypadki pożarów w instalacjach gospodarki odpadami, okazuje się, że nie należą one do rzadkości. Podano zaledwie kilka wybranych awarii, które zdarzyły się w niewielkim odstępie czasu.

1. W maju 2013 r. pożar unieruchomił spalarnię osadów ściekowych w oczyszczalni „Czajka” (Warszawa). Przyczyną był pożar wkładu węgla aktywnego w instalacji dezodoryzacji. Nie było ofiar, lecz instalacja po pożarze była unieruchomiona przez 10 dni [6].
2. W listopadzie 2013 r. wybuchł pożar w rejonie kolektora wyprowadzającego kompost z hali kompostowni na plac w Szadółkach (Gdańsk). Instalacja była zamknięta przez kilka miesięcy [4].
3. Dnia 8 stycznia 2014 r. późnym wieczorem wybuchł pożar w sortowni odpadków w Lininie (powiat piaseczyński). Paliły się tworzywa sztuczne, głównie sprasowany styropian i folia. Był to już piąty pożar tej sortowni śmieci, zlokalizowanej na terenie byłej jednostki wojskowej w Lininie (wcześniej w latach 2008, 2010, 2012 i 2013). Prawdopodobną przyczyną pożaru było podpalenie, gdyż miejsce jest położone z dala od ścisłej zabudowy, a składowisko odpadów nie jest należycie monitorowane ani zabezpieczone [9].
4. W maju 2013 r. strażacy prawie 10 godzin walczyli z pożarem w magazynach sortowni odpadów firmy BM EKO w Rzemiechowie koło Kobylina (pow. Krotoszyn). Paliły się odpady magazynowane obok hali, gdzie znajdowało się około 300 ton paliwa stałego i rozdrobnione materiały palne. Udało się uratować budynki. Według mediów straty mogły sięgać nawet 100 tys. zł [4].
5. Na wiosnę 2014 r. w sortowni odpadów w Krakowie przy ul. Nad Drwiną zapaliła się hałda magazynowanych odpadów tworzyw sztucznych i opon. Nie odnotowano strat w ludziach [7].
6. W maju 2014 r. na terenie Zakładu Usług Komunalnych USKOM w Unisz-kach Cegielni wybuchł pożar. Paliły się śmieci składowane w belach na obszarze ok. 50 na 70 metrów. Pożar objął część magazynową półproduktów do produkcji paliw alternatywnych. Nie było zagrożenia dla okolicznych zabudowań i mieszkańców. Nie odnotowano również start w ludziach [5].
7. W maju 2014 r. wybuchł pożar sortowni odpadów w miejscowości Miąskowo koło Leszna (woj. wielkopolskie). Ogień strawił baloty foli, także zniszczył budynki produkcyjno-magazynowe. W kulminacyjnej fazie pożaru z ogniem walczyło ponad 100 strażaków [8].

8. W maju 2014 r. podkarpaccy strażacy gasili pożar w sortowni odpadów komunalnych w Młynach w powiecie jarosławskim. Zapaliła się hala o wymiarach 50 na 80 m, w której były segregowane odpady wykorzystywane do produkcji paliw alternatywnych. W zdarzeniu nikt nie ucierpiał. W akcji gaśniczej w kulminacyjnym momencie brało udział 17 jednostek straży pożarnej. Straty mogą sięgnąć kilku milionów złotych. Spaliły się maszyny do segregacji oraz hala [10].

4. Klasyfikacja przyczyn powstawania pożarów w instalacjach gospodarki odpadami

Požary instalacji w gospodarce odpadami nie należą do rzadkości. Najczęstszą przyczyną pożarów w zakładach gospodarki odpadami w naszym kraju jest czynnik ludzki – zaniedbanie lub podpalenie. Można jeszcze wymienić kilka innych czynników, których wystąpienie może spowodować pożar. Należą do nich wybuchy gazów palnych i pyłów, samozapłony i reakcje chemiczne, podczas których wydzielą się duża ilość ciepła oraz następuje zaprószenie ognia [14]. Wybuchy w zakładach gospodarki odpadami są najczęściej powodowane przez odpady, które nie powinny się tam znajdować, np. opakowania po dezodorantach, lakierach do włosów. Do zainicjowania zapłonu takiej mieszaniny potrzebny jest bodziec o bardzo niewielkiej energii (np. niedopałek papierosa, niesprawna instalacja elektryczna). Podczas rozdrabniania odpadów stałych powstają pyły, które mogą tworzyć mieszaniny wybuchowe.

W związku ze znaczną liczbą pożarów występujących w instalacjach gospodarki odpadami zaproponowano następującą klasyfikację przyczyn ich występowania opartą na klasyfikacji przyczyn pożarów lasów [2, 3, 15]:

- naturalna – pożary powstałe z przyczyn naturalnych bez udziału człowieka, np. niekontrolowana, naturalna emisja gazów z wysypiska, wyładowania atmosferyczne,
- wypadek – pożary wywołane w sposób niezamierzony i pośredni przez ludzi bez użycia ognia, np. przez iskry powstałe na skutek awarii linii wysokiego napięcia i innych typów przewodów, pożary wywołane przez spaliny, gorące katalizatory i hamulce pojazdów, pożary wywołane przez iskry pochodzące z silników i maszyn lub przez łatwopalne materiały i opary, pożary powstałe na skutek samozapłonu odpadów łatwopalnych,
- zaniedbanie – pożary wywołane w sposób niezamierzony przez ludzi używających ognia lub obiektów żarzących się,
- podpalenie – pożary wywołane w sposób celowy przez ludzi za pomocą ognia,

- powtórny zapłon – pożar wtórny, ponowny wybuch, ponowne wzniesienie się pożaru, pożary wywołane przez powtórny zapłon po wcześniejszym pożarze przez żarzące się resztki,
- nieznaną.

Przedstawioną klasyfikację można zastosować do przeprowadzenia pierwszego etapu procesu zarządzania ryzykiem, czyli do identyfikacji zagrożeń [2, 16, 18]. W praktyce należy tylko te grupy przyczyn uszczegółowić, uwzględniając ich charakterystyki i specyficzne cechy konkretnych instalacji. Należy przy tym, oprócz zdarzeń, które w przeszłości były przyczyną pożarów, wziąć pod uwagę wszystkie zdarzenia, które potencjalnie mogłyby stanowić taką przyczyną.

5. Skutki pożarów

Kolejnym etapem (po identyfikacji przyczyn pożaru) w procesie zarządzania ryzykiem jest zazwyczaj analiza skutków. Każde zdarzenie szkodliwe (np. pożar) powoduje wystąpienie negatywnych skutków, które można oceniać w różnych aspektach, tj. w zależności od rodzaju zagrożonych dóbr, utraconych wartości materialnych lub niematerialnych, utraconego miejsca pracy itp. Skutki pożarów można więc pogrupować jako: ekologiczne, gospodarcze i społeczne.

Wśród skutków ekologicznych pożaru instalacji można wyróżnić: zagrożenie środowiska naturalnego poprzez emisję szkodliwych substancji do atmosfery w wyniku niekontrolowanego procesu spalania lub tlenia się odpadów, emisję substancji szkodliwych ze spalania niekontrolowanego odpadów niebezpiecznych, które mogą się znajdować w odpadach komunalnych, emisję metali ciężkich, dioksyn i furanów, pyłów, odorów i rozwiewanych frakcji odpadów lekkich. Bezpośrednim następstwem pożarów lasu dla środowiska naturalnego dodatkowo jest wzrost stężenia CO₂ w powietrzu. Do wód gruntowych, powierzchniowych oraz gleb przedostają się zazwyczaj odcieki ze spalonej masy odpadów i zanieczyszczenia chemiczne. Zagrożenie takie ma charakter długotrwały i długofalowy. Pożar stanowi zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi oraz dla zwierząt i roślinności. W wyniku pożarów ekosystemów, na które rozprzestrzenił się pożar z sąsiadujących instalacji, znacznemu zmniejszeniu ulega również różnorodność biologiczna. Bezpośrednim skutkiem pożarów jest bowiem całkowite lub częściowe uszkodzenie roślin, śmierć organizmów glebowych, zwierząt, a także zniszczenie siedlisk wielu ich gatunków. Powierzchnia ziemi zniszczona w wyniku takiej awarii wymaga zazwyczaj bardzo długiego okresu rekultywacji i odrodzenia się ekosystemu. Według ustawy Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 129 z 2006 r., poz. 902 ze zm.) w instalacjach tego typu należy dotrzymywać zasad prewencji i przezorności w celu zapobiegania temu oddziaływaniu poprzez zastosowanie środków zapobiegawczych oraz zasadę ponoszenia kosztów zapobiegania lub usunięcia szkód środowiskowych przez podejmującego się prowadzenia działalności gospodarczej (zasada zanieczyszczający

placi). Zgodnie z tymi zasadami i odpowiedzialnością przedsiębiorcy znalezienie przyczyn powstawania pożaru jest niezmiernie istotne i kluczowe dla późniejszego ponoszenia kosztów i redukcji skutków takiej awarii.

Skutki gospodarcze to ekonomiczne i technologiczne konsekwencje pożarów. Są to przede wszystkim straty finansowe przedsiębiorcy lub gminy oraz konieczność odbudowy zniszczonej infrastruktury. Należy również uwzględnić koszty akcji gaśniczej i oczyszczania pożarzyska. Niejednokrotnie są to także koszty naprawy szkód i strat środowiskowych, wypłacanych rekompensat, świadczeń i ubezpieczeń. Należy również podkreślić, że brak takiej instalacji czy infrastruktury zniszczonej w trakcie pożaru powoduje zburzenie istniejących struktur administracyjnych w regionalnych rozwiązaniach systemów gospodarki odpadami, stworzonych na podstawie wojewódzkich planów gospodarki odpadami. Stwarza to konieczność poszukiwania nowych rozwiązań regionalnych, poszukiwania instalacji zastępczych, zmian tras przewozu odpadów oraz reorganizację całego systemu. Wszystko to wiąże się z kolejnymi kosztami inwestycyjnymi i operacyjnymi.

Skutki społeczne to nie tylko utrata zdrowia lub życia pracowników, ale również utrata miejsc pracy. Są to również straty i doznania pracowników, którzy szczęśliwie przeżyli. W przypadku rozprzestrzenienia się pożaru, np. na las, łąki czy pola uprawne, skutki społeczne obejmą również szkody w sferze psychicznej spowodowane utratą miejsc rekreacji i przygnębiającym widokiem porzecziska.

6. Szacowanie ryzyka związanego z pożarami instalacji gospodarki odpadami

6.1. Wybór miary ryzyka

Szacowanie ryzyka R polega na wyznaczeniu jego miary, co musi być poprzedzone świadomym wyborem najlepszej dla danego problemu miary ryzyka [13, 15, 19]. Ze względu na wielkość i znaczenie szkód w instalacjach gospodarki odpadami szacowanie ryzyka wybuchu pożaru powinno mieć szczególne znaczenie.

W przypadku gdy straty (S) dotyczą dóbr materialnych, to miarą ryzyka może być: wielkość strat finansowych (np. zniszczone budynki, spalone materiały), liczba jednostek straży pożarnej gaszącej pożar, czas trwania akcji gaśniczej, czas przestoju instalacji spowodowany pożarem itp. Jeśli straty dotyczą tzw. dóbr szczególnie chronionych (życie i zdrowie ludzkie), wówczas można mówić o szkodach, których miarą może być liczba osób poszkodowanych lub zagrożonych albo stopień uszczerbku na zdrowiu. Gdy straty rozpatruje się w kategorii środowiska naturalnego, to miarą może być: wielkość zdegradowanego terenu, czas potrzebny na przywrócenie środowiska do stanu pierwotnego, liczba gatun-

ków zwierząt lub roślin albo liczba osobników chronionego gatunku, które ucierpiały lub wyginęły wskutek pożaru.

Trudniej jest oszacować prawdopodobieństwo (P) wystąpienia pożaru danej instalacji. Można je próbować wyznaczać w sposób empiryczny jako liczbę zaistniałych (np. w jednym roku) zdarzeń pożarowych odniesioną do liczby wszystkich działających wówczas instalacji danego typu. Jednak ze względu na znaczące zróżnicowanie tych obiektów (np. różne rozwiązania techniczne, różne procesy technologiczne, bardzo duże zróżnicowanie przetwarzanych odpadów, czynnik ludzki czy zabezpieczenia przeciwpożarowe i przestrzeganie przepisów) oraz trudną do określenia liczbę instalacji analogicznych prawdopodobieństwo należałoby przyjmować na podstawie delfickiej metody ekspertów. Jej ideą jest kilkukrotne anonimowe ankietowanie grupy ekspertów połączone z zaznajamianiem ich z wynikami poprzednich ankiet, aż do uzyskania wystarczającej zgodności osądów [13, 18].

Oprócz proponowanych powyżej miar pojedynczych ($R = P$ albo $R = S$) można stosować miary kompleksowe. Tradycyjnie najczęściej stosuje się miarę $R = P \cdot S$. Innymi przykładami mogą być: $R = P \cdot S \cdot E$ lub $P \cdot S/O$, gdzie R – ryzyko, P – prawdopodobieństwo, S – straty, E – stopień ekspozycji na zagrożenie, O – stopień odporności systemu na zagrożenia. Można zatem przyjmować różne miary ryzyka w zależności od potrzeb i możliwości (dostępne dane).

6.2. Wyznaczanie miary ryzyka

Do wyznaczenia wybranej miary ryzyka należy zastosować odpowiednią metodę. Jeśli dysponuje się znaczną liczbą danych (np. dotyczących wielkości strat), to zasadne będzie zastosowanie metody ilościowej, np. statystycznej, która pozwoli wyznaczyć ryzyko w jednostkach rzeczywistych (np. straty w PLN, czas w godzinach lub latach, prawdopodobieństwo jako liczbę z zakresu $0 \div 1$). Można przy tym wyznaczać wartości maksymalne, średnie lub zakres wielkości. Jeśli danych jest niewiele, można zastosować metody jakościowe (np. metodę matrycową), która pozwoli wyznaczyć ryzyko względne (tzn. w umownie przyjętym zakresie). Oprócz tych dwóch podstawowych grup metod istnieją metody tzw. ilościowo-jakościowe, które w zależności od sposobu zastosowania staną się metodami ilościowymi albo jakościowymi. Do tej grupy należą metoda drzewa zdarzeń ETA (ang. *Event Tree Analysis*) i metoda drzewa uszkodzeń FTA (ang. *Fault Tree Analysis*) [11-13, 17, 19].

7. Ocena ryzyka

Po oszacowaniu istniejącego ryzyka, tj. po wyznaczeniu jego miary, należy je ocenić. Wcześniej trzeba sformułować kryteria dopuszczalności ryzyka. Inaczej mówiąc, należy określić, kiedy ryzyko będzie [11]:

- akceptowalne (RA), inaczej małe – redukcja ryzyka nie jest konieczna, lecz wskazane jest jego monitorowanie,
- tolerowane (RT), inaczej średnie lub akceptowalne warunkowo – zgodnie z zasadą ALARP (ang. *As Low As Reasonably Practicable* [21]) należy je zredukować, jeśli koszty zmniejszenia ryzyka nie są zbyt wysokie, lecz są racjonalnie uzasadnione (w praktyce – gdy koszty redukcji nie przekraczają potencjalnych strat),
- niedopuszczalne (RN), inaczej duże – należy je zredukować bez względu na koszty, jeśli redukcja ryzyka jest technicznie niemożliwa albo nieoptymalna finansowo, to instalację należy bezwarunkowo zamknąć.

Po dokonaniu oceny ryzyka, jeśli nie będzie ono mogło być zaakceptowane bezwarunkowo, należy wskazać metody jego redukcji. Można wyróżnić dwie grupy metod. Pierwsza to metody określane mianem prewencji, czyli takie, które poprzez dobór różnych zabezpieczeń, zastosowanie nowszych technologii czy choćby doszkalania pracowników, zmniejszają prawdopodobieństwo wystąpienia pożaru. Drugą grupę stanowią metody stosowane już po zajściu zdarzenia, mające na celu minimalizację skutków. Są one określane jako ratownictwo (techniczne, medyczne itp). Zakres działań ratowniczych powinien być określony w tzw. planach operacyjno-ratunkowych. Wybór metody redukcji ryzyka należy traktować jako zadanie optymalizacyjne, gdzie tzw. koszty bezpieczeństwa (obejmujące zarówno koszty wypadkowe, jak i koszty zabezpieczeń) osiągną minimum.

8. Przykłady aplikacji metod oceny ryzyka

8.1. Metoda ETA

Przedstawiono aplikacje dwóch metod. Pierwsza ETA jest metodą drzew logicznych, zastosowana jako metoda jakościowa. Pozwala ona na ocenę scenariuszy, które mogą się losowo zrealizować po zajściu w wybranej instalacji gospodarki odpadami kombinacji różnych okoliczności i zdarzeń. Szczegółowa analiza przyczyn pozwala na zredukowanie ryzyka rozprzestrzeniania się pożaru. Druga to metoda matrycowa (metoda jakościowa) pozwalająca ocenić ryzyko związane z pożarem i zagrożeniem zdrowia zamieszkujących ludzi w bliskim sąsiedztwie palącej się instalacji gospodarki odpadami.

Metoda drzewa zdarzeń ETA (ang. *Event Tree Analysis*) jest metodą kreowania scenariuszy i oceny ich skutków. Przez scenariusz rozumie się rozwój sytuacji od tzw. zdarzenia inicjującego, poprzez zdarzenia rozwojowe, do zdarzeń końcowych, dla których można określić skutki. Konstrukcja scenariuszy wymaga uwzględnienia ciągu zdarzeń i okoliczności, które, występując w określonej kolejności, mają istotny wpływ na skutki (wielkość, zasięg, dotkliwość).

Dla każdego zdarzenia inicjującego oraz wybranych okoliczności i zdarzeń rozwojowych można skonstruować wiele możliwych scenariuszy. Ich graficzny

obraz przedstawia drzewo zdarzeń. Ponieważ dla każdego zdarzenia rozwojowego i każdej okoliczności rozpatruje się dwie możliwości (albo zajdzie albo nie zajdzie), to maksymalna liczba możliwych scenariuszy wynosi $I = 2^n$, gdzie n – liczba uwzględnianych zdarzeń rozwojowych.

W praktyce pewne scenariusze się pomija, gdyż niektóre kombinacje zdarzeń rozwojowych się wykluczają. Można wyróżnić dwa rodzaje scenariuszy. W wyniku zrealizowania się scenariuszy „optymistycznych” straty albo nie powstaną, albo będą nieistotne. Takich scenariuszy zgodnie z krzywą Farmera jest zazwyczaj najwięcej. Natomiast scenariusze „pesymistyczne” to scenariusze o istotnych skutkach, które można np. określić jako skutki średnie, duże, bardzo duże. Z punktu widzenia oceny ryzyka ważne są tzw. scenariusze wypadkowe o najcięższych skutkach. Dla instalacji, dla której wdrożono zarządzanie ryzykiem, takich scenariuszy jest zazwyczaj mało, czasem tylko jeden i jest on na ogół mało prawdopodobny. Scenariusze wypadkowe są podstawą procesu redukcji ryzyka. Znajomość tych scenariuszy nietypowych może pomóc w identyfikacji mało prawdopodobnych przyczyn. Natomiast znajomość typowych scenariuszy może pomóc wyeliminować najczęstsze przyczyny.

Konstrukcję drzewa zdarzeń i ocenę wielkości skutków należy traktować jako metodę jakościową. O ile są dostępne informacje o występowaniu zdarzeń rozwojowych, to możliwe jest wyznaczenie prawdopodobieństwa zajścia poszczególnych scenariuszy, wówczas metoda staje się metodą ilościową.

Podczas konstruowania drzewa zdarzeń ważny jest dobór zdarzeń rozwojowych i okoliczności. Należy uwzględniać te, o których z retrospekcji wiadomo, że miały istotne znaczenie, ale również takie, które dotychczas nie odegrały żadnej roli, choć było to potencjalnie możliwe. Według A. Einsteina wyobraźnia jest ważniejsza niż wiedza, bo choć wiedza wskazuje na to, co jest, wyobraźnia wskazuje na to, co będzie. Zatem pominięcie czegoś co jeszcze się nie wydarzyło wcale nie oznacza, że jest to niemożliwe. W przykładzie ETA zastosowano jako metodę jakościową.

Przykład 1.

Pożar w hali sortowni odpadów komunalnych. Hala sortowni jest otwarta i wentylowana, istnieje więc ciągły dopływ dużej ilości powietrza, co stwarza dobre warunki palne. W hali podczas pracy robotnicy stoją na drewnianych paletach lub pomostach z tworzyw sztucznych. W pobliżu hali na hałdach są składowane odpady i wysegregowane surowce (papier, drewno, tworzywa sztuczne, czasem odpady niebezpieczne, np. opakowania ciśnieniowe) w ilości ok 50 Mg. W pobliżu (zazwyczaj do 1 km) brak jest większych skupisk ludzi (np. obiektów gęstej zabudowy). Skutkiem pożaru są jedynie straty materialne.

Jako zdarzenie inicjujące (A) przyjęto niesprawność instalacji elektrycznej (np. iskrzenie przewodu prowadzonego w listwie). Ponieważ podczas analizy uwzględniono 5 zdarzeń rozwojowych (B-F), w drzewie zdarzeń (rys. 1.) uwzględniono następujące zdarzenia i okoliczności:

A – wystąpienie zdarzenia inicjującego – niesprawność instalacji elektrycznej,

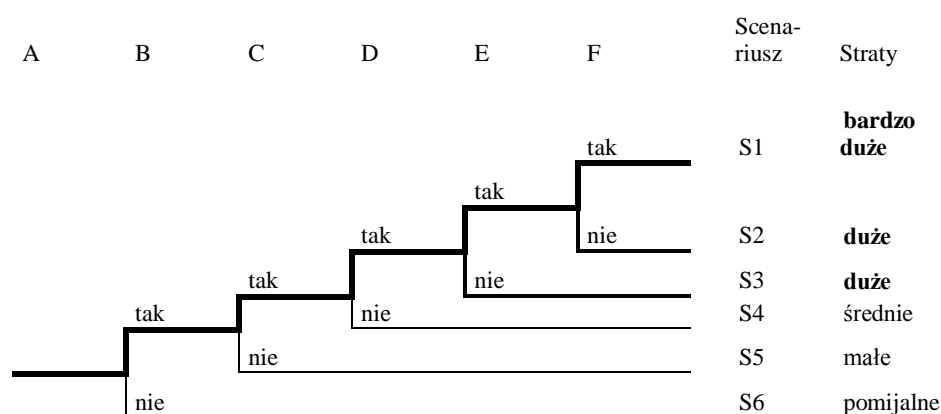
B – niezauważenie pierwszych oznak,

C – rozprzestrzenienie się pożaru na halę,

D – rozprzestrzenienie się pożaru na hałdy magazynowanych odpadów,

E – powstanie mieszanek wybuchowych,

F – przeniesienie przez wiatr pożaru na sąsiednie obiekty (np. magazyny).



Rys. 1. Drzewo zdarzeń dla zdarzenia inicjującego – niesprawność instalacji elektrycznej w hali sortowni

Fig. 1. Event tree for initiating event: the failure of the electrical system in the sorting hall

W rezultacie wyodrębniono 6 scenariuszy. Scenariusze wypadkowe zaznaczono przez pogrubienie odpowiednich linii. Dzięki opracowaniu drzewa zdarzeń zidentyfikowano jeden scenariusz wypadkowy o bardzo dużych stratach. Dodatkowo przyjęto dwa scenariusze o dużych stratach. Po analizie drzewa można wskazać metody redukcji ryzyka. W tym przypadku mogą to być: przeglądy instalacji, prowadzenie przewodów elektrycznych podtynkowo, montaż czujników dymu, usunięcie z hali niepotrzebnych palnych elementów, odpowiednia lokalizacja magazynów i hałd odpadów (odległość, zbiornik ppoż., oddzielenie pasem zieleni), segregacja odpadów niebezpiecznych (wybuchowych) ze strumienia odpadów komunalnych. Ważnym elementem procesu redukcji ryzyka jest okresowe przeprowadzanie ćwiczeń ppoż. na terenie zakładu. Takie ćwiczenia pomagają pracownikom podjąć szybką reakcję, a ponadto umożliwiają strażakom wcześniejsze zapoznanie się z obiektem (poznanie technologii, stosowanych zabezpieczeń, najbardziej newralgicznych miejsc i instalacji, warunki ewakuacji i zaopatrzenia wodnego).

8.2. Metoda matrycowa

Metoda matrycowa należy do grupy tzw. metod jakościowych. Ich ideą jest wyznaczenie względnej miary ryzyka w umownie przyjętym zakresie. Metodę matrycową stosuje się, jeśli brak jest wystarczających informacji do zastosowania metod ilościowych oraz jeśli są możliwe skutki w zakresie zdrowia lub życia ludzi.

Pierwszym krokiem jest wybór miary i parametrów ryzyka, czyli czynników, które będą istotnie wpływać na wielkość miary ryzyka. Następnie przyjmuje się liczbę klas (k), na które dzieli się możliwy zakres parametrów. Najczęściej przyjmuje się $k = 3$. Równocześnie wszystkim klasom przypisuje się określenia jakościowe. Obowiązuje zasada, że im bardziej prawdopodobne jest zdarzenie i im większe są skutki, tym wyższy numer klasy należy im przypisać. Zakresy parametrów w klasach muszą spełniać warunki rozłączności i zupełności, tak aby w każdym przypadku określenie klasy parametru było jednoznaczne. Kolejnym krokiem jest utworzenie matrycy ryzyka (zgodnie z przyjętą miarą) oraz sprecyzowanie zakresów ryzyka, co stanowi równocześnie podanie kryterium dopuszczalności ryzyka. Ostatnim krokiem jest ocena ryzyka oraz wskazanie metod ewentualnej redukcji ryzyka.

Przykład 2.

W czasie pożaru instalacji gospodarki odpadami powstają szkodliwe związki, których chmurę wiatr przenosi nad pobliską miejscowość. Jako miarę ryzyka proponuje się przyjąć iloczyn $R = P \cdot S$, gdzie P – prawdopodobieństwo narażenia zdrowia ludzi, S – ciężkość szkód zdrowotnych. Dla każdego z parametrów ryzyka (P , S) przyjmuje się $k = 3$ klasy. Określenie klasy prawdopodobieństwa zależy oczywiście od częstości zdarzenia (tab. 1.).

Tabela 1. Klasy prawdopodobieństwa pożaru instalacji i przeniesienia chmury spalin na zamieszkały rejon

Table 1. Classes of probability of fire installations and moving clouds of smoke in the living area

Klasa	Prawdopodobieństwo	Specyfikacja szczegółowa
1	małe	rzadziej niż raz na 15 lat
2	średnie	częściej niż raz na 15 lat, lecz rzadziej niż raz na 5 lat
3	duże	częściej niż raz na 5 lat

Określenie klasy skutków jest uzależnione zarówno od składu i działania dymów, jak i od liczby poszkodowanych osób (tab. 2.). Następnie skonstruowano matrycę ryzyka (tab. 3.). Jak widać, względna miara ryzyka R może przyjmować wartości w zakresie 1-9.

Tabela 2. Klasy prawdopodobieństwa skutków

Table 2. Classes of probability effects

Klasa	Skutki	Specyfikacja szczegółowa
1.	małe	dym o działaniu drażniącym drogi oddechowe bez zawartości związków toksycznych; skutki odczuwa do 10% populacji
2.	średnie	alternatywnie <ul style="list-style-type: none"> dym o działaniu drażniącym drogi oddechowe bez zawartości związków toksycznych, skutki odczuwa 11-50% populacji, dym zawiera związki toksyczne, skutki dla pojedynczych osób
3.	duże	alternatywnie <ul style="list-style-type: none"> dym o działaniu drażniącym drogi oddechowe bez zawartości związków toksycznych, skutki odczuwa co najmniej 50% populacji dym zawiera związki toksyczne, skutki co najmniej dla kilkunastu osób

Tabela 3. Matryca ryzyka

Table 3. Risk matrix

		Skutki		
		1	2	3
Prawdopodobieństwo	3	3	6	9
	2	2	4	6
	1	1	2	3

Przyjęto następujące zakresy ryzyka:

- RA – ryzyko akceptowalne, gdy $R \leq 2$,
- RT – ryzyko tolerowane, gdy $2 < R \leq 4$,
- RN – ryzyko niedopuszczalne, gdy $R > 4$ lub $S = 3$ (najwyższy stopień skutku bez względu na częstość).

Gdyby pożar tej instalacji zdarzał się średnio raz na 7 lat ($P = 2$) i gdyby skutkiem były przemijające dolegliwości układu oddechowego u ok. 30% populacji ($S = 2$), to ryzyko należałoby ocenić jako tolerowane $R = 2 \cdot 2 = 4$. Należałoby ryzyko to monitorować i minimalizować, o ile koszty jego redukcji nie byłyby bardzo wysokie. Metodami redukcji ryzyka może być: podjęcie działań w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia pożaru, szybkie podjęcie profesjonalnej akcji ppoż., zalesienie obszarów wokół instalacji, wykupienie działek od ludzi w pobliżu instalacji, ustalenie obszarów ograniczonego użytkowania zgodnie z prawem ochrony środowiska itp.

Przykład 2. został uproszczony, gdyż intencją auterek było przedstawienie idei metody. Przeprowadzając dokładną ocenę ryzyka, należałoby zastanowić się nad inną miarą. Mogłaby ona uwzględniać stopień narażenia zależny od chwili powstania pożaru (w porze nocnej narażonych jest 100% populacji, natomiast

w dzień tylko ok. 40%, tj. głównie osoby starsze i dzieci, gdyż dorośli i młodzież przebywają w pracy lub w szkole, w dalszej odległości od miejsca zamieszkania). Można też uwzględnić warunki pogodowe (np. kierunek wiatru, ciśnienie, wilgotność). Wówczas należałoby uwzględnić dodatkowe parametry ryzyka, przez co macryca ryzyka stałaby się bardziej złożona. Praktyczne przykłady innych miar ryzyka, konstruowania i wykorzystania 3-, 4- i 5-parametrycznych macryc można znaleźć w pracach dotyczących ryzyka w systemach zaopatrzenia w wodę [20, 21].

9. Podsumowanie i wnioski

Požary i zapłony w technologiach gospodarki odpadami to ostatnio częste zjawisko. W Polsce dotychczas nie klasyfikowano w żaden sposób przyczyn powstawania pożarów w takich instalacjach, chociaż potencjalnie stanowią one zagrożenie z uwagi na prowadzoną działalność oraz rodzaj przetwarzanego łatwopalnego surowca.

Współcześnie uważa się, że żaden system ani żadna instalacja nie są wolne od ryzyka. Nawet jeśli dotychczas nic złego się nie wydarzyło, nie oznacza to, że nie może się wydarzyć w przyszłości. Dlatego lepiej jest zapobiegać zajściom ewentualnych tzw. zdarzeń szkodliwych i powstawaniu strat. Konieczne jest zatem stosowanie procesu zarządzania ryzykiem. Kolejne jego etapy (identyfikacja zagrożeń, szacowanie i ocena ryzyka) w rezultacie pozwolą na zabezpieczenie się przed powstawaniem strat poprzez wybór i realizację najlepszych metod redukcji ryzyka. W zależności od typu systemu można wyróżnić wiele rodzajów ryzyka. Przykładowo, dla instalacji gospodarki odpadami można mówić o ryzyku zanieczyszczenia powietrza, gruntu, zagrożeniu pracowników lub ludzi mieszkających w sąsiedztwie czy w końcu o ryzyku powstania pożarów.

W pracy przedstawiono problematykę związaną z ryzykiem pożarowym obiektów gospodarki odpadami. Dotychczas nie podejmowano w literaturze tej tematyki, ale liczne przykłady ostatnio występujących pożarów takich instalacji wskazują, że warto szczegółowo ją rozpracować.

Literatura

- [1] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Dz.U.UE.L.08.312.3).
- [2] Generowicz A., Iwanejko R.: Wstępna ocena ryzyka zagrożeń środowiska pracy w technologiach gospodarki odpadami komunalnymi. I Ogólnopolska Konferencja Naukowa w ramach Światowego Dnia Bezpieczeństwa i Ochrony Zdrowia w Pracy. Politechnika Częstochowska i Centralna Szkoła Państwowej Straży Pożarnej w Częstochowie, 22 maja 2014.
- [3] Generowicz A., Kowalski Z., Makara A.: Ocena technologii spalania odpadów komunalnych z wykorzystaniem koncepcji najlepszej dostępnej technologii BATNEEC. Rynek Instalacyjny, vol. 12, 2013.

- [4] <http://krotoszyn.naszemiasto.pl/tag/pozar-sortowni-odpadow-kobylin.html> (dostęp: 21.11.2014).
- [5] <http://naszamlawa.pl/pozar-na-wysypisku-smieci-w-uniszkach-cegielni-uskom-wy-dal-oswiadczenie,news,6885,aktualnosc.html> (dostęp: 21.11.2013).
- [6] <http://tvnwarszawa.tvn24.pl/informacje,news,pozar-unieruchomil-spalarnie-w-czaj-ce-kolejny-przestoj,89082.html> (dostęp: 21.11.2014).
- [7] <http://wiadomosci.onet.pl/krakow/pozar-sortowni-smieci-kleby-dymu-nad-krakowem/d35fb> (dostęp: 21.11.2014).
- [8] <http://wiadomosci.onet.pl/poznan/miaskowo-ogromny-pozar-w-sortowni-odpadow/vs100> (dostęp: 21.11.2014).
- [9] <http://www.kurierpoludniowy.pl/wiadomosci.php?art=12513> (dostęp: 21.11.2014).
- [10] <http://www.nowiny24.pl/apps/pbcs.dll/tngallery?Site=NW&Date=20140509&Category=FOTWYDARZENIA&ArtNo=509009998&Ref=PH> (dostęp: 21.11.2014).
- [11] Iwanejko R.: O praktycznym stosowaniu jakościowych metod szacowania ryzyka w systemach zaopatrzenia w wodę. Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej, nr 8-Ś, 2005.
- [12] Iwanejko R., Lubowiecka T.: Ryzyko w gospodarce wodno-ściekowej współczesnego zakładu przemysłowego. Ryzyko. Zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie. TNOiK, Bydgoszcz 2002.
- [13] Komorowicz T., Gwadera M., Wojsa P.: Ocena ryzyka wypadku pożaru i wybuchu związanego z obecnością niebezpiecznych czynników chemicznych. Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej, nr 1-Ch/2010, Issue 10.
- [14] Ościłowska B.: Pożary w zakładach zagospodarowania odpadów. Przegląd Komunalny, nr 5/2012.
- [15] Piwnicki J.: Nowa klasyfikacja przyczyn pożarów obowiązująca w Unii Europejskiej. Samodzielna Pracownia Ochrony Przeciwpożarowej Lasu, Sękocin Stary 2012.
- [16] PN-N-18002:2000: System zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Ogólne wytyczne oceny ryzyka zawodowego.
- [17] PN-EN 61025:2007: Analiza drzewa niezdatności – wersja angielska.
- [18] PN-EN ISO 14121-1:2008: Bezpieczeństwo maszyn. Ocena ryzyka. Część 1. Zasady (zastępuje PN-EN 1050:1999).
- [19] PN-IEC 60300-3-9: Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Analiza ryzyka w systemach technicznych.
- [20] Rak J.: Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Komitet Inżynierii Środowiska PAN, t. 28, 2005, s. 133-141.
- [21] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2005, s. 79-102.
- [22] Raport o występowaniu zdarzeń o znamionach poważnej awarii w 2013 roku. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2014.
- [23] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 października 2013 w sprawie rodzajów i ilości substancji niebezpiecznych, których znajdowanie się w zakładzie decyduje o zaliczeniu go do zakładu o zwiększonym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej (Dz.U. 2013. 1479).
- [24] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 grudnia 2002 w sprawie poważnych awarii objętych obowiązkiem zgłaszania do Głównego Inspektora Ochrony Środowiska (Dz.U. 2003. 5. 58).

**CLASSIFICATION OF CAUSES OF FIRES AND RISK ASSESSMENT
THEIR PREVALENCE IN MUNICIPAL WASTE MANAGEMENT
TECHNOLOGIES IN THE CONTEXT OF ECONOMIC LOSS,
ENVIRONMENTAL AND SOCIAL**

S u m m a r y

Fires and ignition in waste management technologies recently frequent phenomenon. In Poland, has not classified in any way the causes of fires in these systems, although they are potentially a threat because of the business are being processed and the type of flammable material. This article attempts to classification causes of fire in the waste facilities. On the basis of the events afterglow traced their causes and effects. Knowledge of typical scenarios such events can help eliminate the cause and help provided for-conducting appropriate risk analysis. The main objective of risk assessment is to provide a rational basis to make informed decisions concerning-to the described system. The first step in risk assessment is called identification of hazards, which determine the events and situations, which in the future may cause a fire. The next step is to estimate the risk, which is the process of switching his designated-measure. Measures in case of fire waste facility may relate to material goods, health and life of humans, environmental hazards (e.g. in the case of incineration of hazardous waste), the loss of jobs. Depending on the available information can be used a variety of methods: quantitative, qualitative and quantitative – qualitative. After determining the risk-core it should refer to the previously adopted criterion levels of tolerance. As a result, evaluating the risks may be taken appropriate preventive action consisting in reducing the risk of fire, its control and minimization.

Keywords: municipal waste, waste management, waste management systems, fire installations, the effects of fires, risk management, risk measures.

Przesłano do redakcji: 5.01.2015 r.

Przyjęto do druku: 28.03.2015 r.

DOI: 10.7862/rb.2015.10