



Lessons Learned Bulletin – Nauka płynąca z poważnych awarii, do których doszło w obiektach gospodarowania odpadami

Raport podsumowujący

2024



Spis treści

1. Wprowadzenie.....	4
2. Nauka płynąca z poważnych awarii, do których doszło w obiektach gospodarowania odpadami.....	5
2.1 Przykłady poważnych awarii, do których doszło w obiektach gospodarowania odpadami oraz nauka płynąca z ich wystąpienia.....	5
2.2 Zdarzenie 1 – Emisja toksycznych gazów podczas przetwarzania odpadów niebezpiecznych	6
2.2.1 Sekwencja zdarzeń	6
2.2.2 Najważniejsze ustalenia	6
2.2.3 Nauka płynąca z wystąpienia zdarzenia 1.....	7
2.3 Zdarzenie 2 – Pożar w magazynie odpadów niebezpiecznych w centrum przetwarzania odpadów	10
2.3.1 Sekwencja zdarzeń	10
2.3.2 Najważniejsze ustalenia	10
2.3.3 Nauka płynąca z wystąpienia poważnej awarii – Zdarzenie 2	11
2.4 Zdarzenia 3 i 4.....	12
2.4.1 Zdarzenie 3 – Zatrucie w oczyszczalni ścieków podczas zrzutu odpadów	12
2.4.1.1 Sekwencja zdarzeń.....	12
2.4.1.2 Najważniejsze ustalenia	12
2.4.2 Zdarzenie 4 – Zatrucie w oczyszczalni ścieków podczas procesu przepompowywania odpadów niebezpiecznych.....	12
2.4.2.1 Sekwencja zdarzeń.....	12
2.4.2.2 Najważniejsze ustalenia	13
2.4.3 Nauka płynąca z wystąpienia poważnej awarii – Zdarzenia 3 i 4.....	13
2.5 Zdarzenie 5 – Niekompatybilna mieszanina substancji w zakładzie zajmującym się utylizacją odpadów niebezpiecznych.....	14
2.5.1 Sekwencja zdarzeń.....	14
2.5.2 Najważniejsze ustalenia.....	14
2.5.3 Nauka płynąca z wystąpienia poważnej awarii – Zdarzenie 5	15
2.6 Pożar w magazynie akumulatorów w zakładzie zajmującym się gospodarką odpadami	17
3. Analiza związku przyczynowego awarii	18
3.1. Klasyfikacja odpadów i źródło zdarzenia	19
3.2 Skutki	19
3.3 Zdarzenia inicjujące	20
3.4 Podstawowe przyczyny i okoliczności zwiększające ryzyko wystąpienia awarii.....	21

3.4.1	Awarie związane z procedurami operacyjnym	22
3.4.2	Awarie związane z zarządzaniem obiektami unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych	23
3.5	Lista kontrolna	24
4.	Wnioski.....	25

Streszczenie

Obiekty gospodarowania odpadami były źródłem 15 poważnych awarii, do których doszło na terenie Unii Europejskiej (UE) w ciągu ostatnich pięciu lat (począwszy od 2018 r.).

Są one piątym sektorem (po przemyśle chemicznym, energetycznym, wydobywczym i metalurgicznym oraz wybuchowym), w którym najczęściej dochodzi do poważnych awarii – wg danych zawartych w unijnej bazie danych eMARS, w której informacje są corocznie aktualizowane i analizowane przez Wspólne Centrum Badawcze (JRC).

W związku powyższym, aby udostępnić najbardziej skuteczne sposoby zapobiegania poważnym awariom w związku z gospodarką odpadami w UE i poza nią, Biuro ds. Zagrożeń Poważnymi Awariami (MAHB) przeprowadziło analizę 85 awarii chemicznych, do których doszło w ww. sektorze w latach 1989–2022. Przedmiotowa analiza opierała się głównie na opisach awarii, ustaleniach i wnioskach wyciągniętych z raportów z awarii udostępnionych w bazie eMARS oraz innych źródłach międzynarodowych (we francuskiej bazie danych ARIA i amerykańskiej Radzie Bezpieczeństwa Chemicznego).

Poniższy raport zawiera 6 przykładów poważnych awarii, do których doszło w obiektach gospodarowania odpadami oraz naukę płynącą z ich wystąpienia.

1. Wprowadzenie

Od czasu ustanowienia pierwszej dyrektywy Seveso w 1982 r. (82/501/EWG)¹, JRC MAHB konsekwentnie wspiera prawodawstwo europejskie odnośnie zapobiegania poważnym awariom z udziałem substancji niebezpiecznych oraz łagodzenia ich skutków. Głównym celem dyrektywy Seveso II (96/82/WE)², która obowiązywała w latach 1997–2012, oraz obecnie obowiązującej dyrektywy Seveso III (2012/18/UE)³, w dalszym ciągu jest zapobieganie poważnym awariom przemysłowym. Dyrektywa Seveso III, w szczególności skupia się na charakterystyce uwolnionej substancji niebezpiecznej w oparciu o stwarzane przez nią ryzyko. MAHB uczestniczy w dostosowywaniu przyszłych polityk i przepisów, uwzględniając zmiany rynkowe, w tym wprowadzanie nowych produktów oraz postępu w przemyśle chemicznym i petrochemicznym.

Zgodnie z dyrektywą Seveso III Komisja Europejska (KE) jest zobowiązana do rozpowszechniania nauki płynącej z poważnych awarii przemysłowych, w celu wspierania podmiotów oraz rządowych organów regulacyjnych w zarządzaniu ryzykiem katastrof chemicznych. W związku z powyższym MAHB aktywnie angażuje się w przeprowadzanie analiz, które są udostępniane za pośrednictwem serii publikacji *Lessons Learned Bulletin (Nauka płynąca z poważnych awarii – LLB)*. Ponadto MAHB współpracuje z grupami ekspertów w celu głębszej analizy ryzyka przemysłowego, udoskonalenia strategii i narzędzi egzekwowania prawa stosowanych przez właściwe organy UE, wypełniających obowiązki wynikające z dyrektywy Seveso. Wspierając współpracę między zainteresowanymi stronami i dzieląc się wiedzą z zakresu różnych branż, MAHB dąży do poprawy standardów bezpieczeństwa i ograniczenia ryzyka związanego z postępowaniem z substancjami niebezpiecznymi i ich stosowaniem.

Seria publikacji *LLB* wykorzystywana jest jako narzędzie do rozpowszechniania bieżących i nowo pojawiających się tematów w zakresie awarii chemicznych oraz dobrych praktyk zarządzania zagrożeniami z nich wynikających. Seria *LLB* jest cennym źródłem informacji dla polityków, rządowych organów regulacyjnych, specjalistów z branży i społeczeństwa, ułatwiając podejmowanie świadomych decyzji i doskonalenie środków bezpieczeństwa procesów chemicznych. Każde wydanie biuletynu *LLB* koncentruje się na konkretnym temacie, identyfikując pojawiające się zagrożenia i rozpowszechniając odpowiednie środki zapobiegawcze i łagodzące. Raport stanowi również wkład do współpracy JRC w zakresie wniosków wyciągniętych z awarii chemicznych z Organizacją Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) oraz Europejską Komisją Gospodarczą Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ).

¹ "Council Directive 82/501/EEC of 24 June 1982 on the major-accident hazards of certain industrial activities," Informacje dostępne pod adresem: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31982L0501>

² "Council Directive 96/82/EC of 9 December 1996 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances," Informacje dostępne pod adresem: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A31996L0082>

³ "Directive 2012/18/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC Text with EEA relevance Informacje dostępne pod adresem: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/18/oj>

Niniejszy biuletyn opiera się na przeprowadzonej przez JRC analizie awarii chemicznych, które miały miejsce w obiektach zajmujących się przechowywaniem i przetwarzaniem odpadów niebezpiecznych w UE oraz poza nią. Raport przedstawia wnioski wyciągnięte z ww. awarii, a także zawiera sugerowane pytania z listy kontrolnej dla inspektorów i operatorów obiektów zajmujących się gospodarką odpadami. Przypadki awarii uwzględnione w raporcie zostały wybrane spośród awarii zgłoszonych w unijnej bazie danych eMARS i innych źródłach dot. awarii chemicznych.

2. Nauka płynąca z poważnych awarii, do których doszło w obiektach gospodarowania odpadami

W dniu 27 lipca 2021 r. w niemieckim zakładzie utylizacji odpadów chemicznych doszło do eksplozji, w wyniku której śmierć poniosło 7 pracowników zakładu, a 31 zostało rannych.

Francuskie Biuro do spraw Ryzyka Przemysłowego (BARPI) w swoim raporcie z 2016 r. pn. *Przegląd statystyk dot. awarii w obiektach gospodarki odpadami*⁴ wskazuje, że "sektor odpadów zajmuje obecnie 3 miejsce wśród branż najbardziej narażonych na wystąpienie awarii".

W 2020 r. w UE wytworzono łącznie 2 135 mln ton odpadów, z czego 4,4% sklasyfikowano jako odpady niebezpieczne (źródło: Eurostat⁵). W miarę przechodzenia UE na gospodarkę o bardziej zamkniętym obiegu, konieczność osiągnięcia celów w zakresie przetwarzania odpadów niebezpiecznych wzrosła. W połączeniu z wprowadzeniem nowych rodzajów odpadów, związanych z pojawieniem się nowych technologii np. akumulatory z pojazdów elektrycznych, zakłady przetwarzania odpadów mogą być narażone na nowe zagrożenia chemiczne.

2.1 Przykłady poważnych awarii, do których doszło w obiektach gospodarowania odpadami oraz nauka płynąca z ich wystąpienia

Przedstawione poniżej awarie oraz nauka płynąca z ich wystąpienia, zostały uznane za najistotniejsze z merytorycznego punktu widzenia, spośród 85 raportów awarii objętych analizą JRC MAHB. W niniejszym opracowaniu wyróżniono te awarie i wyciągnięte z nich wnioski, które autorzy opracowania uważają za najbardziej interesujące, jednak należy wskazać, że szczegółowe informacje na ich temat często nie są dostępne, w związku z czym wyciągnięte wnioski oparte są na informacjach zawartych w opisie awarii. Warto zauważyć, że poprzez zastosowanie analizy przyczynowej, w 85 analizowanych zdarzeniach zidentyfikowano powtarzające się wzorce. Wzorce te wskazywały, że awarie omówione w niniejszym opracowaniu są reprezentatywne dla scenariuszy awarii i wyciągniętych wniosków, które mogą wystąpić w obiektach gospodarowania odpadami.

Opisy awarii i wnioski wyciągnięte z poniższych zdarzeń zostały odtworzone na podstawie oficjalnych raportów poawaryjnych.

⁴ BAPRI, "Overview of accident statistics on waste management facilities," October 2016. Informacje dostępne pod adresem: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/uploads/2017/06/2016-10-11-SY-AccidentologieDechetsVersionSimplifiee-PA-EN-Vfin.pdf>

⁵ Eurostat, "Waste statistics," 2023. Informacje dostępne pod adresem: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics#Total_waste_generation

2.2 Zdarzenie 1 – Emisja toksycznych gazów podczas przetwarzania odpadów niebezpiecznych

2.2.1 Sekwencja zdarzeń

W zakładzie zajmującym się przetwarzaniem i recyklingiem odpadów niebezpiecznych, w wyniku użycia przez 2 pracowników zakładu kwaśnego roztworu odpadów (zawierającego fluorowodór i kwas azotowy) w celu usunięcia osadów na wewnętrznej ścianie reaktora, wystąpiła reakcja chemiczna pomiędzy osadem i kwaśnym roztworem odpadów. W skutek zdarzenia doszło do wytworzenia się toksycznych gazów, które przedostały się na teren zakładu poprzez otwarte złącze do poboru próbek. Po zauważeniu ulatniającego się gazu, pracownicy usiłowali zatrzymać reakcję, wprowadzając do reaktora wapno neutralizujące.

Pomimo zastosowania masek ochronnych i udzielonej pierwszej pomocy, 1 z pracowników zakładu, w wyniku kontaktu z gazem zmarł. O zdarzeniu niezwłocznie powiadomiono służby ratownicze oraz zaalarmowano pobliskich mieszkańców (za pomocą komunikatów ostrzegawczych nadawanych przez głośniki w pojazdach). Dzięki wypełnieniu reaktora wodą wyciek został zatrzymany.

2.2.2 Najważniejsze ustalenia

- Nie zdawano sobie sprawy z niebezpieczeństwa jakie może spowodować zmieszanie odpadów kwasowych. Chociaż zostały one sklasyfikowane jako żrące, ich toksyczność została zbagatelizowana z powodu błędnej interpretacji analiz laboratoryjnych oraz bazowaniu na dostarczonej dokumentacji transportowej.
- Zakład powinien zostać zaklasyfikowany jako zakład Seveso, jednak klasyfikacja odpadów, w pozwoleniach posiadanych przez zakład, nie uwzględniała aktualnych właściwości odpadów przetwarzanych w zakładzie. Co więcej, toksyczne gazy emitowane podczas niebezpiecznych reakcji nie zostały uwzględnione we wniosku o uzyskanie pozwolenia.
- Mniejsze emisje gazu oraz uciążliwości zapachowe (spowodowane wytrącaniem się osadów w zbiorniku reaktora) miały miejsce również wcześniej, powodując utrudnienia podczas procesu technologicznego.
- Zbiornik reaktora nie posiadał zautomatyzowanych funkcji wykrywania odbiegających od normy reakcji i tworzenia się toksycznych gazów, a także uruchamiania procedur łagodzących/wyłączających, które pomogłyby zapobiec lub zminimalizować emisję.
- Zagrożenie związane z uwolnieniem toksycznego gazu podczas procesu neutralizacji zostało zidentyfikowane w przeprowadzonych analizach ryzyka, niemniej jednak potencjalnego problemu nigdy nie rozwiązano.
- Nie przestrzegano obowiązujących procedur zarządzania ryzykiem – decyzja pracowników o użyciu zmieszanych odpadów kwasowych w celu usunięcia osadu nie była zaplanowaną ani zatwierdzoną procedurą, co stanowiło naruszenie procedur.
- Brak możliwości niezwłocznego zlokalizowania miejsca podłączenia sprzętu ratowniczego do instalacji zaopatrującej zakład w wodę, przez służby ratownicze, co spowodowało znaczne opóźnienie w kluczowym elemencie akcji ratowniczej.
- Modyfikacje wprowadzane do urządzeń podczas okresu ich eksploatacji nie zostały odpowiednio przeanalizowane pod kątem ich wpływu na zagrożenie lub procedury operacyjne, co potencjalnie wprowadziło nieprzewidziane niebezpieczeństwo.

2.2.3 Nauka płynąca z wystąpienia zdarzenia 1

Uzyskanie odpowiednich informacji w celu klasyfikacji odpadów

Obowiązkiem operatora jest pełna znajomość wszystkich niebezpiecznych właściwości związanych z odpadami przetwarzanymi na terenie zakładu. Przeprowadzenie dokładnej klasyfikacji zagrożeń ma kluczowe znaczenie dla zagwarantowania, że magazynowanie, przeładunek i utylizacja odpadów uwzględnią ich niebezpieczne właściwości. W związku z powyższym, zakład nie powinien polegać wyłącznie na dokumentacji transportowej, ale powinien również dysponować odpowiednimi narzędziami, które zapewnią mu właściwą klasyfikację zagrożeń. Niemniej jednak punktem wyjścia powinna być bieżąca wymiana informacji, pomiędzy operatorem a dostawcą odpadów, obejmująca przewidywaną klasyfikację odpadów (szczegółowo udokumentowaną i podobnie interpretowaną) co pozwoli na zachowanie odpowiednich procedur.

Ponadto, podczas dostawy operatorzy powinni zweryfikować czy niebezpieczne właściwości i reaktywność zużytych chemikaliów zostały wcześniej przeanalizowane i zidentyfikowane, tak szczegółowo, jak to możliwe, zgodnie z dyrektywą UE w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania (CLP) (rozporządzenie (WE) nr 1272/2008) lub analogicznym systemem krajowym. Chociaż rozporządzenie CLP nie ma zastosowania do odpadów chemicznych, to ze względu na ich niebezpieczne właściwości ww. rozporządzenie powinno określać dla nich klasyfikację zagrożeń. Dostawa odpadów powinna pozostać na osobnym stanowisku przeładunkowym i nie powinna zostać przekazana do przetwarzania aż do momentu potwierdzenia i udokumentowania ich klasyfikacji. Operatorzy zakładów zajmujących się produkcją i gospodarowaniem odpadami powinni również zapoznać się z właściwą dokumentacją dot. analizy i klasyfikacji odpadów, zgodnie z poniższą tabelą.

Tabela 1. Analiza i klasyfikacja odpadów

Poniższe dokumenty zawierają kompleksowe wytyczne dot. sposobu klasyfikowania i oznaczania odpadów (jednej substancji lub grup odpadów), opisują podstawowe pojęcia i odniesienia do dostępnych norm i metod dotyczących pobierania próbek odpadów i analiz chemicznych, które powinny być wykonane przez dostawcę odpadów w celu odpowiedniej klasyfikacji, oznakowania i udokumentowania odpadów.

- Dyrektywa 2008/98/WE w sprawie odpadów ("RDW")⁶
- Decyzja Komisji 2000/532/WE w sprawie wykazu odpadów⁷
- Zawiadomienie Komisji w sprawie wytycznych technicznych dotyczących klasyfikacji odpadów (2018/C 124/01)⁸

Nacisk na znajomość zagrożeń występujących w miejscu pracy i zapewnienie właściwego zarządzania ryzykiem

⁶ "Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance)," [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>. [Accessed 11 September 2023].

⁷ "2000/532/EC: Commission Decision of 3 May 2000 replacing Decision 94/3/EC establishing a list of wastes pursuant to Article 1(a) of Council Directive 75/442/EEC on waste and Council Decision 94/904/EC establishing a list of hazardous waste pursuant to Art," [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2000/532/oj>. [Accessed 12 November 2023].

⁸ "Commission notice on technical guidance on the classification of waste (2018/C 124/01)," [Online]. Available: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018XC0409\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018XC0409(01)). [Accessed 5 November 2023].

Operatorzy składowisk odpadów niebezpiecznych powinni być całkowicie pewni co do rodzaju i stopnia zagrożenia związanego z odpadami, z którymi mają do czynienia. Ich moralnym, jeśli nie prawnym obowiązkiem, jest odpowiedzialne zarządzanie zagrożeniami chemicznymi w celu uniknięcia awarii, które mogłyby spowodować szkody dla ludzi i społeczeństwa.

Obowiązek ten jest szczególnie ważny w przypadku zakładów zajmujących się przetwarzaniem, recyklingiem, obróbką i magazynowaniem niebezpiecznych substancji chemicznych. Aby wywiązać się z tego obowiązku, operator powinien obliczyć, tak dokładnie jak to możliwe, ilości niebezpiecznych substancji, które będą przetwarzane na terenie zakładu, wziąć pod uwagę możliwość utraty kontroli nad procesem oraz zakres potencjalnych scenariuszy awaryjnych i ich skutków. Informacje te powinny zostać wykorzystane do opracowania systemu zarządzania bezpieczeństwem (SZB) w zakładzie.

Prawidłowo działający SZB zapobiegłby wielu błędom, które mogłyby doprowadzić do wystąpienia awarii. Np. za pomocą odpowiednich procedur i narzędzi SZB uwzględniłby ryzyko zidentyfikowane podczas przeprowadzonej oceny zagrożeń oraz zdefiniowałby procedurę zarządzania zmianami. SZB wdrożyłby proces zgłaszania i analizy awarii oraz wspierałby pozytywną kulturę bezpieczeństwa.

W powyższym przypadku, nie identyfikując zagrożeń i ryzyka, zakład uniemożliwił podjęcie odpowiednich działań, co doprowadziło do awarii ze skutkiem śmiertelnym.

Zapewnianie właściwego nadzoru legislacyjnego i zgodności z obowiązującymi przepisami prawa

Na terenie UE oraz innych krajów wiele składowisk odpadów niebezpiecznych jest uznawanych za obiekty stwarzające zagrożenie wystąpienia poważnej awarii, w związku z czym są one ustawowo zobligowane do wypełniania obowiązków legislacyjnych w zakresie zarządzania ryzykiem i podlegają zwiększonej kontroli administracji rządowej. Podczas procesu wydawania pozwolenia, przed wydaniem zgody na rozpoczęcie pracy zakładu, organy właściwe w sprawie powinny ustalić jak wysokie ryzyko wystąpienia poważnej awarii stanowi zakład (w UE czy zakład należy do grupy zakładów SEVESO). Proces wydawania pozwoleń powinien ustalić, czy dany zakład jest zakładem wysokiego ryzyka (w UE jest to zakład Seveso), zanim zostanie on dopuszczony do eksploatacji. W tym celu operator powinien ukończyć proces identyfikacji zagrożeń, biorąc pod uwagę w szczególności niebezpieczną charakterystykę substancji, ewentualne wystąpienie reakcji i ogólny profil ryzyka związany z odpadami niebezpiecznymi, które mają być przetwarzane na terenie zakładu, a także uwzględnić ww. ustalenia w stosownym wniosku o pozwolenie. (Rodzaj pozwolenia może różnić się w zależności od kraju, ale często jest to pozwolenie na wytwarzanie odpadów niebezpiecznych, pozwolenie środowiskowe lub równoważne). Organizacje zajmujące się problematyką odpadów niebezpiecznych powinny przyczyniać się do budowania świadomości na temat krajowych przepisów i kompetencji w zakresie przeprowadzania procesu identyfikacji zagrożeń.

Z drugiej jednak strony, organy kontrolne powinny również wdrożyć standardowy proces identyfikacji potencjalnych obiektów stwarzających zagrożenie wystąpienia poważnej awarii, podczas procesu wydawania zezwoleń.

W rzeczywistości operatorzy składowisk odpadów nie zawsze zdają sobie sprawę z tego, że ich działalność może zostać zakwalifikowana jako obiekty stwarzające zagrożenie wystąpienia poważnej awarii, dlatego tak ważne jest, by organy kontrolne mogły niezależnie dokonać ww. kwalifikacji. W związku z tym, może istnieć potrzeba przeprowadzania okresowych szkoleń

lub kampanii podnoszących świadomość, dla organów właściwych w zakresie wydawania pozwoleń.

Instalacja automatycznych systemów bezpieczeństwa (ASB)

Tworzenie się toksycznych gazów jest zjawiskiem powszechnym w zbiornikach i reaktorach wykorzystywanych do przetwarzania odpadów niebezpiecznych. Operatorzy powinni upewnić się, że w celu zwiększenia bezpieczeństwa w procesach związanych z wykorzystaniem substancji niebezpiecznych i potencjalnym tworzeniem się toksycznych gazów wdrożono ASB. Odpowiednio szybki system ostrzegania o tworzeniu się toksycznych gazów i uruchomienie automatycznego wyłączenia lub wprowadzenie procedury minimalizującej (np. automatyczne wstrzykiwanie roztworu neutralizującego) zapewnią zmniejszenie udziału człowieka w przypadku wystąpienia nieprzewidzianych okoliczności. Czujniki lub analizatory pH powinny być podłączone do podstawowego systemu sterowania procesem (PSSP), aby uniknąć bezpośredniego kontaktu człowieka ze zbiornikiem procesowym (na przykład poprzez pobieranie próbek, tak jak w tym przypadku pokazanym na Rysunku 1). Ponadto w procesach, w których utrzymanie odpowiedniego poziomu pH ma kluczowe znaczenie dla zapobieżenia wystąpienia niebezpiecznych reakcji chemicznych (takich jak proces neutralizacji odpadów) monitorowanie pH powinno być zintegrowane z oprzyrządowanym systemem bezpieczeństwa (OSB), aby zapewnić uruchomienie właściwych automatycznych środków w przypadku wystąpienia zakłóceń procesu. Wytyczne techniczne określające niezbędne protokoły i metodologie, których należy przestrzegać w celu skutecznego wdrożenia ASB, można znaleźć w normach branżowych, takich jak:

- ISA-84/IEC 61511 – Bezpieczeństwo użytkownika: Przyrządowe systemy bezpieczeństwa dla sektora przemysłu procesowego,
- IEC 62682:202 – Zarządzanie systemami alarmowymi dla przemysłu procesowego,
- IEC 61508 – Bezpieczeństwo użytkownika elektrycznych/elektronicznych.

Rysunek 1. Miejsce pobierania próbek toksycznych gazów uwalnianych w górnej części reaktora podczas procesu przetwarzania odpadów



Źródło: Turcja, 2022

Okresowa aktualizacja i przeprowadzanie ćwiczeń planów operacyjno–ratowniczych

Trudności w znalezieniu odpowiedniego rozwiązania podczas skutecznego reagowania na sytuacje awaryjne podkreślają potrzebę skrupulatnego opracowania planów operacyjno–ratowniczych i gotowości do ich zastosowania. Ćwiczenia oraz szkolenia oparte na scenariuszach awaryjnych, powinny być regularnie przeprowadzane w celu oceny i weryfikacji ich skuteczności, a także zapewnienia pełnej dostępności i optymalnego działania wszystkich elementów bezpieczeństwa. Takie profilaktyczne podejście zapewni szybką i skuteczną reakcję w sytuacjach zagrożenia.

Źródło: eMARS nr 001344 – „Niebezpieczna reakcja chemiczna w zakładzie zajmującym się recyklingiem odpadów”. Informacje dostępne pod adresem: <https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/82f91fb9-14a3-11ee-988e0050563f0167>

2.3 Zdarzenie 2 – Pożar w magazynie odpadów niebezpiecznych w centrum przetwarzania odpadów

2.3.1 Sekwencja zdarzeń

W zewnętrznym magazynie centrum przetwarzania odpadów niebezpiecznych doszło do pożaru odpadów niebezpiecznych. System alarmowy działający na podczerwień wywołał natychmiastową reakcję pracowników obecnych na miejscu zdarzenia, którzy niezwłocznie podjęli próby gaszenia pożaru. Działania te zostały jednak utrudnione poprzez (będącą wynikiem pożaru) eksplozję puszek zawierających aerozole. Pracownicy zakładu skontaktowali się ze służbami ratowniczymi, które ugasiły pożar po około godzinie od jego rozpoczęcia. W wyniku zdarzenia doszło do pożaru co najmniej 11 ton odpadów, w tym: 2 ton odpadów niebezpiecznych pochodzących z gospodarstw domowych (ONzGD), 4 ton różnych materiałów opakowaniowych (palety, skrzynie, plastikowe pojemniki) i 5 ton gumowych węży. Nastąpiło uwolnienie smugi czarnego dymu do atmosfery. Wykonane pomiary nie wykazały jednak żadnych oznak toksyczności związanych z uwolnionym dymem.

2.3.2 Najważniejsze ustalenia

- Pożar powstał w miejscu gdzie składowane były 60–litrowe plastikowe skrzynie zawierające ONzGD, które zostały dostarczone na miejsce zdarzenia tuż przed weekendem i nie zostały jeszcze posortowane.
- Operator podejrzewał, że przyczyną pożaru mogła być reakcja egzotermiczna spowodowana zmieszaniem niekompatybilnych ONzGD.
- Teren przeznaczony do składowania nieposortowanych odpadów (znajdujący się w niewielkiej odległości od pozostałych budynków zakładu) nie był uwzględniony w analizie zagrożeń, w związku z czym analiza ta nie obejmowała scenariusza pożaru dla tego obszaru. Nie uwzględniono również ewentualnego ryzyka eksplozji puszek zawierających aerozole, które mogłyby spowodować efekt domina.
- W oczekiwaniu na sortowanie, różne rodzaje odpadów, w tym puszki zawierające aerozole i węże hydrauliczne, były przechowywane razem, co dodatkowo utrudniało prowadzenie działań ratowniczo–gaśniczych (elementy te wytwarzały silny dym).

2.3.3 Nauka płynąca z wystąpienia poważnej awarii – Zdarzenie 2

Kluczowe znaczenie systemu wykrywania pożaru

Wykorzystanie sprzętu działającego na podczerwień okazało się kluczowe dla wczesnej identyfikacji pożaru. Detektory dymu, ciepła, płomieni i ultrafioletu (UV)/podczerwieni (IR) umożliwiają szybkie wykrywanie zagrożeń lub źródeł pożaru, zmniejszając potencjalnie skutki awarii i umożliwiając podjęcie skuteczniejszych działań ratowniczych. Dlatego też, w celu zwiększenia środków bezpieczeństwa, niezbędne jest zainstalowanie odpowiednich czujników w miejscach gdzie przetwarzane są łatwopalne odpady niebezpieczne (w tym w obszarach magazynowania oraz wstępnego sortowania).

Wprowadzenie stref zagrożenia i kontroli

Wprowadzenie podziału obszarów na strefy w oparciu o klasyfikację odpadów niebezpiecznych może znacząco zmniejszyć ryzyko związane z niekompatybilnymi materiałami, które mogą wchodzić ze sobą w reakcje. Segregacja odpadów powinna być oparta na ich kompatybilności – odpady niekompatybilne powinny być segregowane oddzielnie. Taka praktyka zmniejsza ryzyko przypadkowego zmieszania lub narażenia na potencjalne chemiczne źródła zapyłku, tym samym ograniczając ryzyko wystąpienia niebezpiecznych reakcji. Osobne składowanie odpadów o podobnych zagrożeniach dla zdrowia zmniejsza również ryzyko wzajemnego zanieczyszczenia i narażenia na działanie substancji toksycznych lub niebezpiecznych. Co więcej, segregacja umożliwia łatwiejszą identyfikację i postępowanie z materiałami niebezpiecznymi podczas sytuacji awaryjnych. Służby ratownicze mogą szybko ocenić sytuację, zidentyfikować zagrożenia i podjąć odpowiednie działania w celu ich ograniczenia. Segregacja odpadów niebezpiecznych powinna być zgodna z wymogami prawnymi, wytycznymi i najlepszymi praktykami obowiązującymi w branży.

Odpowiednio wczesne sortowanie i przetwarzanie odpadów niebezpiecznych

Pozostawienie odpadów niebezpiecznych bez sortowania na dłuższy czas zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia awarii. Terminowe sortowanie i przetwarzanie odpadów niebezpiecznych zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia reakcji egzotermicznych mogących wynikać z nagromadzenia nieposortowanych odpadów. Nagromadzenie odpadów może wynikać z różnych powodów, w tym z wyłączenia z użytkowania sprzętu lub przestojem w pracy pracowników (np. okresy urlopowe). Operatorzy muszą opracować odpowiednie praktyki w przypadku wystąpienia sytuacji, w których ilości nieposortowanych odpadów przekraczają możliwości zakładu w zakresie ich terminowego zagospodarowania. Na przykład operatorzy mogą poprosić o opóźnienie dostawy odpadów, zawrzeć umowy z innymi podwykonawcami w zakresie obsługi nadmiernych ilości odpadów lub odmówić przyjęcia dostawy. Takie działania wymagają odpowiedniego planowania i postępowania według procedur, dzięki czemu można uniknąć podejmowania decyzji na ostatnią chwilę, prowadzących do nagromadzenia niebezpiecznych odpadów w ilościach przekraczających dopuszczalne normy.

Szczególne zagrożenia wynikające z postępowania z aerozolami

Podczas obchodzenia się z substancjami niebezpiecznymi, takimi jak aerozole, konieczne jest przeprowadzenie kompleksowej oceny ryzyka uwzględniającej wszystkie warunki operacyjne. Ocena ta powinna zagwarantować, że plany postępowania w sytuacjach awaryjnych mają wszechstronne zastosowanie w przypadku wystąpienia potencjalnych scenariuszy awarii, biorąc pod uwagę rodzaj, zróżnicowanie i ilości odpadów znajdujących się w obiekcie. Na

przykład, nieuwzględnienie scenariusza pożaru w obszarze nieposortowanych odpadów niebezpiecznych, w połączeniu z możliwością wybuchu puszek zawierających aerozole, spowodowało nieoczekiwane wyzwania podczas reagowania kryzysowego.

Źródło: ARIA nr 48274 – "Pożar w magazynie odpadów niebezpiecznych w centrum przetwarzania odpadów". Informacje dostępne pod adresem https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/48274_en/?lang=en

2.4 Zdarzenia 3 i 4

2.4.1 Zdarzenie 3 – Zatrucie w oczyszczalni ścieków podczas zrzutu odpadów

2.4.1.1 Sekwencja zdarzeń

Na terenie oczyszczalni ścieków, podczas operacji przepompowywania wybielacza do zbiornika zawierającego polichlorek glinu, w wyniku błędu kierowcy doszło do emisji chloru w postaci gazowej. Operacja przepompowywania została zatrzymana, a trzech pracowników zakładu trafiło do szpitala. Utworzono 80-metrową strefę bezpieczeństwa, a dzięki wentylacji obiektu możliwe było uwolnienie powstałych oparów przez komin. Ruch pieszy wokół granicy zakładu był zabroniony przez kilka godzin.

2.4.1.2 Najważniejsze ustalenia

- Mieszanie niekompatybilnych produktów podczas ich przepompowywania zostało uznane jako błąd w obsłudze. Technik obecny na miejscu zdarzenia wskazał kierowcy cysterny – zarówno gestami ręcznymi, jak i ustnie – konkretny otwór do transferu na kolektorze stacji.
- Dokumentacja transportowa nie została sprawdzona, a lista kontrolna transferu, wskazana w procedurach zakładowych, została przygotowana i wypełniona bez przeprowadzenia wymaganych działań kontrolnych przed przyjęciem cysterny do zakładu i rozpoczęciem operacji przepompowywania.
- Pracownicy oczyszczalni ścieków zaangażowani w operacje załadunku i rozładunku nie przeszli wymaganego szkolenia w zakresie klasyfikacji, etykietowania i zasad pakowania w przypadku transportu towarów niebezpiecznych (UN ADR – numer rozpoznawczy, odnoszący się do konkretnego materiału niebezpiecznego).
- W strefie przeładunku nie wywieszono żadnych procedur.
- Zbiorniki nie były wyposażone w odpowiednie oznakowanie towarów niebezpiecznych UN ADR.

Źródło: ARIA nr 37516 – „Zatrucie w oczyszczalni ścieków podczas zrzutu odpadów”. Informacje dostępne pod adresem https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/37516_en/?lang=en

2.4.2 Zdarzenie 4 – Zatrucie w oczyszczalni ścieków podczas procesu przepompowywania odpadów niebezpiecznych

2.4.2.1 Sekwencja zdarzeń

Na terenie spalarni odpadów, podczas operacji przepompowywania kwasu solnego (HCL) z cysterny do zbiornika, doszło do emisji chloru. Kierowca podłączył wąż transferowy do

cysterny i zbiornika, a następnie rozpoczął przepompowywanie. Po przelaniu 200 litrów HCL pracownik odpowiedzialny za przyjmowanie odpadów, podczas monitorowania poziomu napełnienia zbiornika, zauważył wyciek chloru. Operacja została natychmiastowo wstrzymana i włączono alarm. Pomimo zastosowania sprzętu ochrony indywidualnej (maska z filtrem), kierowca poczuł się słabo, niemniej jednak zdołał przejść w bezpieczne miejsce, poza strefą przeładunku. Doszło do wycieku ok 1500 litrów HCL. Poza złym samopoczuciem kierowcy, nie odnotowano żadnych innych skutków zdarzenia.

2.4.2.2 Najważniejsze ustalenia

- Ciężarówka transportowała w tym samym kontenerze trzy 1000-litrowe zbiorniki z HCL i jeden z podchlorynem sodu 10% (NaClO).
- Zbiorniki HCL i NaClO były identyczne i korzystały z tych samych złączy transferowych.
- Kierowca przez pomyłkę podłączył zbiornik z HCL do pojemnika z NaClO, który był przeznaczony dla innego klienta, a następnie rozpoczął transfer.
- Maska kierowcy była niewydajna, ponieważ była używana kilka dni z rzędu, a jej filtr nie został wymieniony.

Źródło: ARIA nr 43406 – „Zatrucie w oczyszczalni ścieków podczas procesu przepompowywania odpadów niebezpiecznych”. Informacje dostępne pod adresem https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/43406_en/?lang=en

2.4.3 Nauka płynąca z wystąpienia poważnej awarii – Zdarzenia 3 i 4

Zagrożenia występujące podczas załadunku i rozładunku substancji chemicznych oraz wdrożenie odpowiednich zabezpieczeń

Operatorzy zajmujący się gospodarką odpadami często lekceważą spoczywającą na nich odpowiedzialność związaną z postępowaniem z odpadami niebezpiecznymi. Bezpieczna obsługa, przetwarzanie i przechowywanie odpadów na terenie zakładu jest równie ważne co kontakt/współpraca z osobami zajmującymi się ich transportem. Żadna operacja przeładunku nie powinna bazować wyłącznie na ustnym potwierdzeniu jej rozpoczęcia.

Wdrożony system zarządzania bezpieczeństwem (SZB) musi uwzględniać standardowe procedury zmniejszające ryzyko uwolnienia substancji chemicznych podczas operacji ich załadunku i rozładunku. Personel powinien zostać przeszkolony w zakresie stosowania odpowiednich procedur, a ich pisemna wersja powinna znajdować się również w miejscu przeładunku, jako szybki punkt informacji dla kierowcy i innych zaangażowanych pracowników. Skuteczny SZB powinien również uwzględniać kontrolę i wymianę elementów sprzętu ochrony indywidualnej, takich jak filtry do masek, zwłaszcza w przypadku personelu narażonego na kontakt z toksycznymi substancjami uwalnianymi podczas załadunku/rozładunku odpadów niebezpiecznych.

Szczególnie w zdarzeniu 4, załadunek odpadów u dostawcy powinien dodatkowo obejmować kolejność odbioru dostawy. Uporządkowanie i segregacja zbiorników, które są odpowiednio oznakowane, zminimalizowałyby ryzyko przekazania niewłaściwej dostawy odbiorcom odpadów. Dodatkowo, segregacja odpadów zgodnie z kolejnością dostaw znacznie zmniejszyłaby ryzyko dostarczenia ich do niewłaściwego odbiorcy. Wprowadzenie aplikacji cyfrowego systemu logistycznego (zarówno u dostawcy odpadów, jak i w zakładzie ich przetwarzania) obejmującego kody QR na pojemnikach na odpady oraz możliwość ich

skanowania podczas przyjmowania dostaw odpadów, pomogłoby również zmniejszyć liczbę błędów przy dostawach odpadów.

Ustalenie i egzekwowanie przestrzegania zasad i procedur przyjmowania odpadów do zakładu

Operatorzy powinni wprowadzić i czynnie egzekwować obowiązek stosowania ustalonych procedur przyjmowania odpadów. Oznakowanie zbiorników na odpady z widocznymi i ustandaryzowanymi informacjami (w tym nazwą chemiczną substancji, jej stężeniem, symbolami zagrożenia i wszelkimi innymi istotnymi szczegółami) powinno być zgodne z dokumentacją dostawy. Wstępne przyjęcie dostawy powinno obejmować fizyczne sprawdzenie odpadów i/lub zbiorników w celu potwierdzenia ich zgodności z dokumentacją oraz sprawdzenia ewentualnych śladów uszkodzeń, wycieków lub nieprawidłowości. Cała dokumentacja związana ze wstępnym odbiorem odpadów powinna być przechowywana w celu przeprowadzenia porównania i weryfikacji.

Zapewnienie odpowiednich kwalifikacji i uprawnień pracowników

Zarówno nadawcy (personel dostarczający) jak i odbiorcy odpadów (personel odbierający) powinni być zobowiązani do posiadania minimalnych kwalifikacji, odpowiednio udokumentowanych, poświadczających, że zostali formalnie przeszkoleni w zakresie zarządzania bezpieczeństwem w odniesieniu do wykonywanych przez nich obowiązków. Przykładowo, w UE certyfikat UN ADR powinien być wymagany od każdej osoby zaangażowanej w czynności załadunku i rozładunku, a szkolenia powinny być aktualizowane z zachowaniem rekomendowanej częstotliwości. Szkolenie UN ADR obejmuje wszystkie aspekty związane z przestrzeganiem procedur bezpieczeństwa, w tym załadunek, rozładunek, reagowanie w sytuacjach kryzysowych, ale także wymogi prawne dotyczące dokumentacji, klasyfikacji, oznakowania i pakowania towarów niebezpiecznych.

2.5 Zdarzenie 5 – Niekompatybilna mieszanina substancji w zakładzie zajmującym się utylizacją odpadów niebezpiecznych.

2.5.1 Sekwencja zdarzeń

W zakładzie SEVESO zajmującym się przetwarzaniem odpadów niebezpiecznych, podczas operacji przesyłu substancji niebezpiecznych doszło do uwolnienia żółtego dymu o zapachu chloru przez otwory wentylacyjne pionowego zbiornika (o pojemności 30 m³). Operacja prowadzona była przez doświadczonego pracownika technicznego, który przelewał 1800 litrów roztworu oznaczonego jako "kwas" z trzech 1000-litrowych zbiorników. Po zauważeniu zdarzenia pracownik spryskał zbiornik wodą, następnie zneutralizował mieszaninę sodą, po czym przepłukał zbiornik. W wyniku zdarzenia ok. 125 osób z zakładu oraz terenów sąsiednich zostało poinformowanych o konieczności pozostania w domach/miejscach będących poza oddziaływaniem zdarzenia, natomiast u kilku pracowników, w wyniku ekspozycji na drażniący dym, wystąpiło podrażnienie oczu.

2.5.2 Najważniejsze ustalenia

- Trzy pojemniki o pojemności 1000 litrów zostały błędnie oznakowane i sklasyfikowane jako kwasy, podczas gdy w rzeczywistości zawierały alkaliczny produkt chemiczny na bazie chlorku sodu (NaClO₂).
- Błędna klasyfikacja substancji i niewłaściwe oznakowanie zbiorników były wynikiem celowego działania przedstawiciela handlowego zakładu utylizacji odpadów oraz

wytwórcy odpadów (ze względu na opóźnienia w uzyskaniu świadectwa odbioru odpadów).

- Pracownik techniczny przeprowadził test pH przyjmowanych odpadów i ustalił, że poziom pH wynosi 9, jednak nie zauważył niezgodności w oznakowaniu wskazanym na etykiecie zbiornika.
- Wstępny test analizy odpadów, przeprowadzony w celu sprawdzenia zgodności między dostawą odpadów a ich dokumentacją transportową był niewystarczający dla określenia ryzyka wystąpienia reakcji, przy zastosowaniu następujących ilości substancji: 100 ml pobrane z dostarczonych odpadów do zbiornika o pojemności od 10 do 15 litrów.
- Analiza zagrożeń obejmowała ryzyko związane z mieszaniem niekompatybilnych substancji, ale nie w tak dużych ilościach.
- Po zauważeniu wycieku pracownik zraszał zbiornik wodą, dodatkowo powodując zagęszczenie dymu.

2.5.3 Nauka płynąca z wystąpienia poważnej awarii – Zdarzenie 5

Opracowanie szczegółowego planu analizy odpadów

Należy wdrożyć szczegółowy plan analizy odpadów, aby umożliwić weryfikację odpadów niebezpiecznych w oparciu o dostarczoną dokumentację, a także właściwe pobieranie próbek odpadów. Operator musi przeprowadzić kompleksową analizę chemiczną i fizyczną pobranej próbki odpadów. Informacje te mogą być pozyskane w wyniku poboru próbek i analizy laboratoryjnej lub w oparciu o inną stosowną dokumentację.

Opracowanie procedur wstępnego odbioru odpadów

Istotne jest, aby operator był odpowiedzialny za przestrzeganie obowiązujących procedur przyjmowania odpadów. Procedury te powinny zapewniać, że tylko wyznaczony personel (w pełni przeszkolony w zakresie procedur wstępnego przyjmowania odpadów) może przyjmować odpady na teren zakładu. Przed przyjęciem odpadów na teren zakładu należy sprawdzić ewentualne rozbieżności pomiędzy dokumentacją przewozową a oznakowaniem zbiorników na odpady oraz dokonać analizy wyników prób pobranych odpadów. W przypadku, gdy dostawca odpadów błędnie zaklasyfikował odpady lub gdy niedostępne są jeszcze wyniki pobranych prób, odpady powinny być przechowywane na oddzielnym terenie, przez ograniczony czas, do momentu określenia ich rzeczywistych niebezpiecznych właściwości.

Odpady niespełniające wymagań powinny być przechowywane w oddzielnej, monitorowanej strefie przechowywania z dokładnie wyznaczonym terminem na rozwiązanie problemów, przed ewentualną odmową przyjęcia odpadów (w celu zminimalizowania narażenia zakładu na potencjalne reaktywne komponenty lub inne nieznanne zagrożenia). Szczegółowe kontrole otrzymanych odpadów i kroki weryfikacyjne powinny być częścią procedur przyjmowania odpadów przed rozpoczęciem jakiegokolwiek transferu. Doświadczony kierownik zakładu powinien być ogólnodostępny dla personelu w przypadku jakichkolwiek pytań dotyczących przyjęcia dostawy. Cały personel powinien zostać przeszkolony w zakresie obowiązujących procedur. Strefa przechowywania odpadów, przed ich przyjęciem, powinna być oddzielona od wszelkich innych odpadów, z zapewnieniem odpowiednich warunków bezpieczeństwa (np. kontroli temperatury, odległości od innych odpadów) oraz urządzeń do monitorowania stanu odpadów (w tym kamer wideo).

Wdrożenie rygorystycznych procedur w zakresie odmowy przyjęcia odpadów

Procedura wstępnego odbioru odpadów powinna również obejmować instrukcje dotyczące postępowania w przypadku stwierdzenia niezgodności oraz jasne kryteria odmowy przyjęcia odpadów. Oprócz procedur postępowania z błędnie sklasyfikowanymi odpadami, instrukcja powinna również gwarantować, że odpad zostanie odrzucony, jeśli dostawca nie powiadomił operatora z wyprzedzeniem o jego niebezpiecznych właściwościach, tak aby operator mógł ustalić, czy zakład posiada wystarczające kompetencje i możliwości do bezpiecznego przetwarzania i unieszkodliwienia dostarczonych odpadów.

Zapewnienie jakości połączone z zarządzaniem dostawcami odpadów

Przeprowadzona analiza wykazała, że wystąpiło co najmniej dziesięć przypadków, w których dostawcy odpadów byli współodpowiedzialni za przekazanie niezgodnych z wymogami odpadów do zakładów zajmujących się ich przetwarzaniem. Niezgodności te dotyczyły zanieczyszczonych odpadów, niewłaściwego oznakowanych zbiorników na odpady, dostarczenia odpadów innych niż te, które wykazano w dokumentacji przewozowej. W związku z tym odrzucanie odbioru odpadów powinno być wspierane przez rygorystyczny system zapewnienia jakości (SZJ) i zarządzania dostawcami odpadów. SZJ powinien być wdrożony w celu ułatwienia prowadzenia dokumentacji i analizy rozbieżności w stosunku do uzgodnionych dostaw odpadów, wspierając kulturę odpowiedzialności i zgodności, w ramach łańcucha dostaw gospodarki odpadami. Pracownicy zajmujący się przyjmowaniem i odrzucaniem dostaw odpadów powinni mieć dostęp do systemu, mając również możliwość wprowadzania do niego odpowiednich informacji, szczególnie w przypadkach, gdy dostawa odpadów jest odrzucana. Generowanie raportów niezgodności (NCR) z odpowiedniego działu kontroli jakości w zakładzie utylizacji odpadów odgrywa kluczową rolę przy eliminacji ponownego pojawiania się odpadów niezgodnych z wymaganiami.

Identyfikacja prawdopodobnych scenariuszy awarii i szkolenie w zakresie odpowiednich procedur łagodzenia ich skutków i reagowania w przypadku ich wystąpienia

Zakłady gospodarki odpadami powinny być świadome zagrożeń i ryzyka związanego z przetwarzaniem lub unieszkodliwianiem odpadów. Zakład powinien przeanalizować szereg procesów i oddziaływań, które mogą doprowadzić do awarii, w oparciu o typowe błędy np. niewystarczająca analiza właściwości niebezpiecznych odpadów. W tej kwestii bezcennym źródłem informacji są zdarzenia, do których doszło w przeszłości, które zakład powinien przeanalizować, w celu opracowania odpowiednich scenariuszy awaryjnych, zidentyfikowania ewentualnych błędów i uwzględnia wyciągniętych wniosków z awarii w swoim SZB. Znajomość scenariuszy i typowych sekwencji zdarzeń, które mogą doprowadzić do poważnej awarii, jest niezbędna w celu przeprowadzenia analizy zagrożeń procesowych i szkolenia pracowników.

W omawianym zdarzeniu operator zdecydował się na zraszanie zbiornika wodą, co spowodowało zagęszczenie wydobywającego się dymu. Działanie to mogło doprowadzić do jeszcze poważniejszych skutków zdarzenia, ponieważ chlor w postaci gazowej reagując z wodą, tworzy kwas solny, który mógłby wytrącić się w pobliżu zbiornika. W związku z powyższym, zakład powinien wdrożyć rygorystyczny mechanizm zapobiegający niewłaściwej klasyfikacji odpadów, a także określić zakłócenia, do których może dojść podczas procesu, a następnie przeszkolić pracowników w zakresie prawidłowego reagowania. Pomimo podjęcia odpowiednich działań w trakcie zdarzenia, operator zamiast wody, powinien zastosować sodę

kaustyczną, co zminimalizowałoby emisję gazu. Uniknięcie tego błędu mogłoby zostać zapewnione poprzez przeszkolenie pracowników w zakresie reagowania na scenariusze obejmujące przykładowe awarie, do których może dojść podczas procesu.

Źródło: ARIA nr 42944 – „Niekompatybilna mieszanina substancji w zakładzie zajmującym się utylizacją odpadów niebezpiecznych”. Informacje dostępne pod adresem https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/42944_en/?lang=en

2.6 Pożar w magazynie akumulatorów w zakładzie zajmującym się gospodarką odpadami **Akumulatory wycofane z obrotu (WZO) i zagrożenia pożarowe**

W punkcie zbiórki odpadów niebezpiecznych doszło do pożaru kontenera wypełnionego akumulatorami kwasowo-ołowiowymi, co pokazuje jak duże zagrożenie stwarza nowe zastosowanie i utylizacja akumulatorów. Przyczyną pożaru był samozapłon wewnątrz kontenera spowodowany przegrzaniem, które wystąpiło w wyniku kontaktu między zaciskami na biegunach akumulatora. Kable, które pozostawiono podłączone do akumulatorów zwiększyły zagrożenie związane z kontaktem między zaciskami.

W wyniku zaistniałego zdarzenia operator zobowiązał dostawców odpadów do demontażu kabli z akumulatorów przed umieszczeniem ich w kontenerach.

Analiza zdarzeń, przeprowadzona w celu opracowania niniejszego biuletynu, wykazała co najmniej trzy przypadki, w których niewłaściwie obchodzono się z akumulatorami lub w ogóle ich nie zidentyfikowano w przychodzących dostawach odpadów. Zdarzenia te przypominają o kluczowej kwestii procedur postępowania z akumulatorami i potrzebie aktualizacji protokołów w celu zmniejszenia ryzyka wystąpienia pożarów.

Rozwijające się praktyki zarządzania odpadami i gotowość na wypadek wystąpienia zagrożenia akumulatorami WZO

Zdarzenie to podkreśla potrzebę aktualizacji procedur utylizacji i postępowania z akumulatorami, aby zmniejszyć ryzyko wystąpienia pożarów. Obiekty zbiórki, przetwarzania, recyklingu i utylizacji odpadów powinny przeanalizować swoje obecne procedury dotyczące przyjmowania odpadów i ich wstępnego sortowania, zwłaszcza że ilość i rodzajów akumulatorów, w dostawach odpadów, stale rośnie. Procedury postępowania z odpadami muszą nieustannie ewoluować, aby w sposób skuteczny zwiększać wydajność mechanizmów sortowania, identyfikacji i przetwarzania różnych typów akumulatorów WZO. Podmioty zajmujące się przetwarzaniem odpadów mogą być zobowiązane do ponownej oceny analizy ryzyka w zakładzie, współpracy z dostawcami odpadów w celu właściwego sortowania odpadów oraz określenia odpowiednich metod ich przetwarzania. Ponadto, przeprowadzenia ponownej analizy może wymagać planowanie awaryjne i reagowanie na zdarzenia, związane z pożarami akumulatorów WZO. Pożary akumulatorów WZO mogą prowadzić do niekontrolowanego wzrostu temperatury, gdzie jeden z akumulatorów nadmiernie się nagrzewa powodując zapłon pozostałych akumulatorów, prowadząc do intensywnego i długotrwałego pożaru, uwalniając przy tym znaczne ciepła, toksycznych gazów i oparów chemicznych. Aby bezpiecznie radzić sobie z takimi zdarzeniami, strażacy muszą odbyć specjalistyczne szkolenia i posiadać odpowiedni sprzęt, a zakłady utylizacji odpadów mogą zostać zmuszone do ponownej oceny stosowanych środków ochrony przeciwpożarowej.

Dyrektywa 2006/66/WE Parlamentu Europejskiego i Rady oraz utylizacja akumulatorów WZO

Dyrektywa 2006/66/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 września 2006 r. w sprawie baterii i akumulatorów oraz zużytych baterii i akumulatorów oraz uchylająca dyrektywę 91/157/EWG zobowiązuje, w szczególności producentów akumulatorów a także użytkowników końcowych, do minimalizacji ryzyka związanego z postępowaniem z akumulatorami po zakończeniu ich użytkowania. Dyrektywa podkreśla jak ważne jest dostarczanie szczegółowych informacji użytkownikom końcowym poprzez system etykietowania, który zapewnia przejrzyste, wiarygodne i jasne informacje na temat bezpiecznej utylizacji baterii i akumulatorów WZO.

Źródło: ARIA nr 43973 – „Pożar w magazynie akumulatorów w zakładzie zajmującym się gospodarką odpadami”. Informacje dostępne pod adresem https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/43973_en/?lang=en

3. Analiza związku przyczynowego awarii

Analiza związku przyczynowego została opracowana po przeprowadzeniu szczegółowej analizy dostępnych raportów z awarii, uwzględniając następujące kryteria: typ branży, w której doszło do zdarzenia oraz dostępność informacji w raportach z awarii. Ww. raporty pozyskano z:

- unijnej bazy danych służącej do zgłaszania poważnych spełniających kryteria dyrektywy SEVESO III – **eMARS**,
- Francuskiej Bazy Danych o Awariach Przemysłowych – **ARIA**,
- Niemieckiego Centrum Zgłaszania i Oceny Awarii w Zakładach Inżynierii Procesowej – **ZEMA**,
- Amerykańskiej Rady Bezpieczeństwa Chemicznego – **CBS**,
- Japońskiej Baza Danych o Awariach – **JFKD** oraz
- Fińskiej Agencji Bezpieczeństwa i Chemikaliów – **TUKES**.

W celu wykonania analizy związku przyczynowego wzięto pod uwagę awarie, które w swoich raportach zawierały: informację o zdarzeniu inicjującym oraz co najmniej jedną przyczynę, która doprowadziła do wystąpienia zdarzenia. Każdy z raportów awarii został poddany indywidualnej analizie w celu wyodrębnienia elementów istotnych z punktu widzenia nauki płynącej z wystąpienia awarii (skutki, przyczyny pośrednie i bezpośrednie wystąpienia zdarzenia). W niektórych raportach dostępne były również informacje dodatkowe, m.in.: klasyfikacja przetwarzanych odpadów, stan eksploatacyjny obiektu w momencie wystąpienia zdarzenia, a także czynniki dodatkowo nasilające sekwencję zdarzeń.

Przeprowadzono analizę 85 raportów z awarii, do których doszło w obiektach gospodarki odpadami zajmującymi się przetwarzaniem, składowaniem i utylizacją odpadów (z wyłączeniem tymczasowego magazynowania odpadów lub innych działań w obrębie zakładów produkcyjnych) z naciskiem na bezpieczne postępowanie z chemicznymi odpadami niebezpiecznymi. W opracowaniu nie brano pod uwagę zdarzeń, do których doszło w oczyszczalniach ścieków komunalnych, chyba że okoliczności awarii wykroczały poza działania z zakresu gospodarki ściekami. Analizie poddano również obiekty zajmujące się unieszkodliwianiem odpadów innych niż niebezpieczne, pod warunkiem, że substancje, które brały udział w zdarzeniu, w wyniku utraty szczelności, stały się niebezpieczne.

Podsumowanie opracowania przedstawiono w sekcji poniżej.

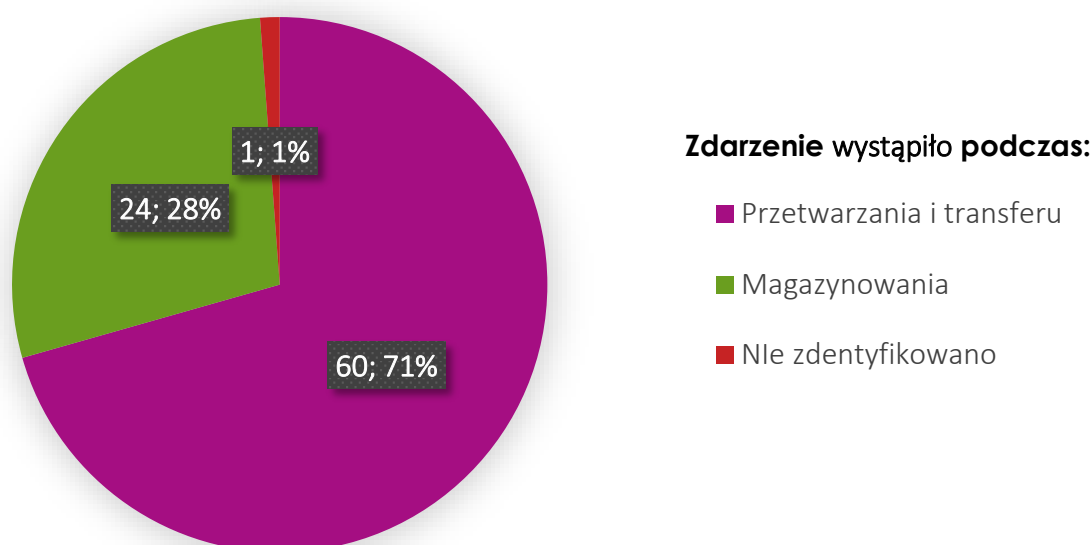
3.1. Klasyfikacja odpadów i źródło zdarzenia

Analiza zdarzeń wykazała, że 65 awarii (80%) miało miejsce w obiektach zajmujących się wyłącznie odpadami niebezpiecznymi, podczas gdy w 10 przypadkach zdarzenia dotyczyły zarówno odpadów niebezpiecznych, jak i innych niż niebezpieczne. W przypadku 7 zdarzeń (8%), do których doszło w obiektach posiadających pozwolenie na przetwarzanie odpadów innych niż niebezpieczne:

- odpady niebezpieczne były obecne, jednak nie zostały zidentyfikowane dostawie,
- substancje uwolnione w wyniku pożaru lub utraty szczelności zawierały substancje niebezpieczne.

W większości przypadków możliwe było zidentyfikowanie stanu eksploatacyjnego zakładu oraz kiedy lub gdzie rozpoczęła się sekwencja zdarzeń.

Wykres 1. Źródło zdarzenia – kiedy lub gdzie rozpoczęła się sekwencja zdarzeń



Źródło: Analiza JRC, 2024

Zgodnie z danymi przedstawionymi na wykresie 1, w przypadku 60 awarii (71%), zdarzenia zostały zainicjowane podczas przetwarzania (obróbki wstępnej, odzysku, unieszkodliwiania) i transferu odpadów (w przypadku 33 awarii do zainicjowania zdarzenia doszło podczas prowadzenia działań związanych z załadunkiem/rozładunkiem lub transferem odpadów).

W przypadku 24 awarii (28%) przyczyną zdarzenia było magazynowanie odpadów niebezpiecznych, przy czym w 14 awariach doszło do samozapłonu, w wyniku ich niewłaściwego sortowania.

3.2 Skutki

Zgodnie z przeprowadzoną analizą wskutek powyższych zdarzeń 16 osób poniosło śmierć, natomiast co najmniej 300 osób zostało rannych (dane obejmujące cały świat od 1989 r.). Jedno z najbardziej katastrofalnych zdarzeń miało miejsce w 2021 r. w Leverkusen w Niemczech, gdzie w wyniku eksplozji w spalarni odpadów Currenta zginęło 7 pracowników

zakładu, 32 zostało rannych, a straty materialne przekroczyły 20 mln euro. W analizowanych raportach często występowały również skutki wykraczające poza teren zakładu, np. zranienie/hospitalizacja 125 osób znajdujących się poza terenem zakładu, natomiast w co najmniej 15 zdarzeniach okoliczni mieszkańcy zostali poinformowani o konieczności pozostania w domach i/lub ewakuacji. W 2006 r. w Apex w Karolinie Północnej w Stanach Zjednoczonych w wyniku pożaru w zakładzie przetwarzania odpadów niebezpiecznych "EQ" ponad 17 000 mieszkańców zostało ewakuowanych na co najmniej 36 godz., a ponad 100 mieszkańców poddano hospitalizacji z powodu problemów z oddychaniem. Straty materialne, będące skutkiem podobnych zdarzeń, zwykle są bardzo wysokie, jednak nie wszystkie analizowane przypadki zawierały ww. informację.

Podsumowując, w przypadku 19 awarii jako skutek zdarzenia wskazano straty materialne, które po zsumowaniu stanowią łączną kwotę w wysokości ponad 77 milionów euro.

3.3 Zdarzenia inicjujące

Wykres 2. Zdarzenia inicjujące sekwencję zdarzeń



Źródło: Analiza JRC, 2024

Zgodnie z danymi przedstawionymi na wykresie 2 większość zdarzeń (32 awarie, co stanowi 38%) spowodowana była mieszaniem niekompatybilnych odpadów, do których doszło w wyniku błędów operacyjnych lub organizacyjnych np. błędnej identyfikacji niebezpiecznych właściwości odpadów, niewystarczającego przeszkolenia pracowników odnośnie procesu lub sposobu reagowania w przypadku wystąpienia nieprzewidzianej reakcji oraz braku przeprowadzenia odpowiedniej oceny ryzyka dla danego procesu.

W przypadku 27 awarii (32%) zdarzenie spowodowane było obecnością zanieczyszczeń lub odpadów, które nie powinny znaleźć się w procesie (np. aerozole lub baterie w piecu).

Operatorzy nie mieli świadomości jak duże niebezpieczeństwo stwarza zanieczyszczony strumień odpadów obecny w procesie przetwarzania odpadów.

W 9 przypadkach (11%) awaria urządzeń procesowych (takich jak mieszadło, granulator, suszarka lub płuczka) doprowadziła do utraty kontroli nad procesem. W przypadku 2 awarii korozja zbiorników doprowadziła do ich rozszczelnienia i uwolnienia odpadów niebezpiecznych.

W przypadku 6 zdarzeń (7%) nieuwzględnienie wymogów bezpiecznej eksploatacji i przechowywania (np. brak kontroli temperatury) doprowadziło do pożarów i/lub wybuchów – w 3 zdarzeniach podczas prowadzenia prac z użyciem ciepła doszło do zapłonu substancji łatwopalnych, natomiast w kolejnych 3 zdarzeniach nastąpiło zwarcie i zapłon przechowywanych lub przetwarzanych akumulatorów.

3.4 Podstawowe przyczyny i okoliczności zwiększające ryzyko wystąpienia awarii

Wykres 3. Podstawowe przyczyny



Źródło: Analiza JRC, 2024

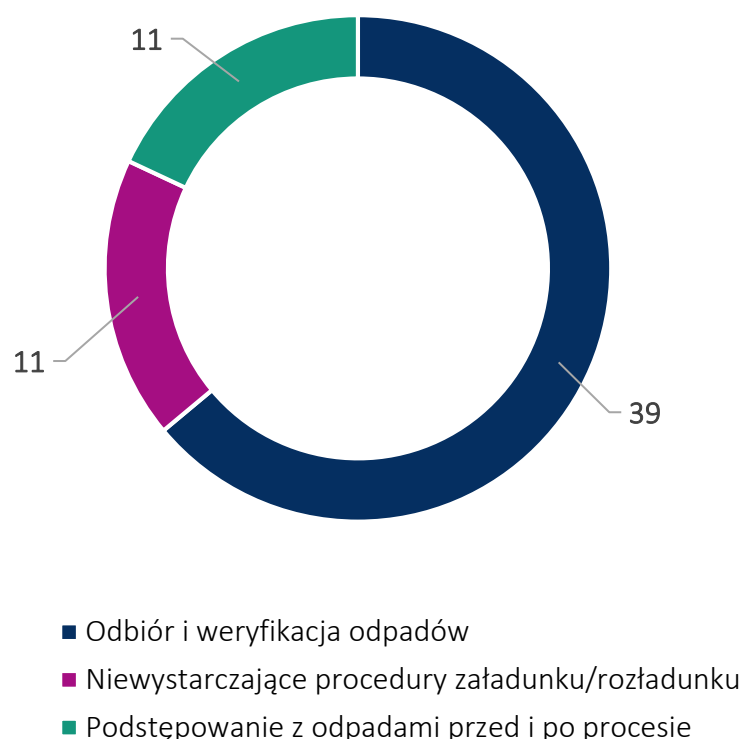
Zgodnie z danymi przedstawionymi na *wykresie 3* główną przyczyną wystąpienia awarii (66 zdarzeń, co stanowi 77%) było stosowanie nieodpowiednich procedur operacyjnych. Ponadto analiza raportów poawaryjnych wykazała, że w wielu przypadkach operatorzy nie dokonali prawidłowej weryfikacji procesów związanych z przetwarzaniem i unieszkodliwianiem odpadów niebezpiecznych. W przypadku 32 awarii (38%) analiza ryzyka procesowego nie obejmowała wszystkich możliwych zagrożeń (w tym wystąpienia potencjalnych reakcji lub pełnego scenariusza ich przebiegu).

Warto zaznaczyć, że niewystarczająca analiza zagrożeń procesowych była bezpośrednio powiązana z pozostałymi przyczynami zdarzeń, ponieważ niebezpieczne właściwości były albo niewłaściwie zidentyfikowane albo nie zostały zidentyfikowane w ogóle. Niewystarczająca analiza zagrożeń procesowych lub jej brak była prawdopodobnie powiązana z szeregiem innych zdarzeń:

- brak odpowiedniego przeszkolenia pracowników (23 awarie, co stanowi 27%) – nie przeszkolenie lub bardzo słabe przeszkolenie pracowników w zakresie identyfikacji niebezpiecznych właściwości i sposobu reagowania w przypadku wystąpienia zakłóceń procesu,
- nieodpowiedni projekt instalacji, w tym sprzętu, co zapewniłoby bezpieczeństwo podczas procesów operacyjnych (23 awarie, co stanowi 27%),
- niewystarczające przygotowanie na wypadek wystąpienia awarii, ponieważ scenariusze awarii, wybrane do ćwiczeń, nie były reprezentatywne dla zidentyfikowanych zagrożeń lub zagrożenia, podczas przeprowadzonej analizy zagrożeń procesowych, nie zostały w ogóle zidentyfikowane (18 awarii, co stanowi 21%)

3.4.1 Awarie związane z procedurami operacyjnym

Wykres 4. Awarie związane z procedurami operacyjnymi



Źródło: Analiza JRC, 2024

Zgodnie z danymi przedstawionymi na wykresie 4, w przypadku 39 awarii (46%) procedury przyjmowania odpadów, w tym ich weryfikacja, okazały się niewystarczające lub nieodpowiednie – operatorzy przyjmowali odpady niebezpieczne, które nie zostały wykazane w dokumentacji dostawy. W wielu przypadkach kontrole odpadów przed ich przyjęciem były

przeprowadzane pobieżnie (lub w ogóle ich nie było) – niewystarczająca weryfikacja dostaw (lub jej całkowity brak), brak pobierania próbek i analizy zawartości odpadów.

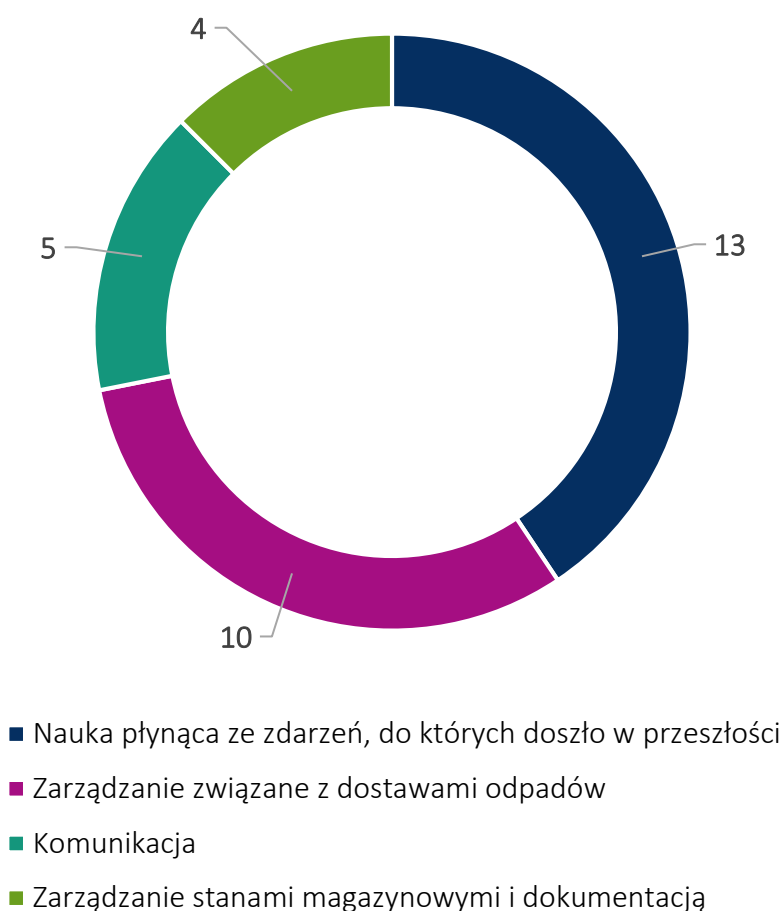
Nieprzeprowadzenie kontroli odpadów podczas przyjmowania dostawy skutkowało ich niewłaściwym sortowaniem (zgodnie z posiadanymi pozwoleniami na eksploatację zakładu) co doprowadziło do podjęcia niewłaściwych decyzji w zakresie ich magazynowania i przetwarzania.

Ponadto w przypadku 11 zdarzeń (13%) nieodpowiednie procedury operacyjne (lub ich całkowity brak) doprowadziły do awarii podczas załadunku lub rozładunku odpadów.

W przypadku 11 awarii (13%) przyczyną zdarzenia było nie przestrzeganie procedur wstępnego przetwarzania odpadów lub niewłaściwa obsługa urządzeń procesowych (np. niedokładne czyszczenie zbiorników, niewłaściwe tymczasowe przechowywanie odpadów po procesie ich przetwarzania).

3.4.2 Awary związane z zarządzaniem obiektami unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych

Wykres 5. Awary związane z zarządzaniem obiektami unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych



Zgodnie z danymi przedstawionymi na wykresie 5, w przypadku 19 awarii (ok. 24%) przyczyną zdarzenia były niedociągnięcia w ogólnym zarządzaniu obiektami unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych – zarządzanie związane z dostawami odpadów, komunikacja oraz zarządzanie stanami magazynowymi i dokumentacją.

W przypadku 13 awarii (15%) operatorzy doświadczyli podobnych zdarzeń w przeszłości z łagodniejszymi lub podobnymi konsekwencjami, jednak po ich wystąpieniu nie przeprowadzono analizy zdarzenia oraz nie usunięto przyczyn ich wystąpienia (w związku z czym do awarii doszło ponownie). W przypadku 10 zdarzeń operatorzy otrzymali odpady niezgodne z przyjętymi normami, co świadczy o niewłaściwym zarządzaniu dostawami odpadów oraz o niewystarczającym poziomie kontroli jakości. Brak odpowiedniej komunikacji pomiędzy dostawcami odpadów i zakładami ich przetwarzania odnośnie właściwości odpadów niebezpiecznych lub optymalnego procesu ich przetwarzania był przyczyną wystąpienia 5 awarii. Ponadto, w przypadku 4 zdarzeń nie posiadano informacji o odpadach już przechowywanych w obiektach ich unieszkodliwiania, dokumentacji dołączonej do dostaw odpadów oraz ogólnego zarządzania stanem magazynowym.

W niektórych przypadkach (8 zdarzeń, co stanowi 9%) niewłaściwe utrzymanie porządku lub wystąpienie korozji urządzeń, wskazywało że kontrole oraz procedury konserwacyjne były przeprowadzone w sposób niedostateczny, podczas gdy w przypadku 6 zdarzeń odpady przechowywano w sposób nieodpowiedni, narażając je na wpływ warunków niespełniających zalecanych norm (tj. nieodpowiednia temperatura/wilgotność/pogoda) lub w magazynie przechowywano zbyt dużą ilość odpadów.

W badaniu wykazano również szereg czynników potęgujących skutki niektórych z analizowanych zdarzeń, nie zmieniając przy tym ich charakteru (w przypadku braku tych czynników nadal doszłoby do zdarzenia). Ww. czynniki związane były głównie z:

- brakiem odpowiedniej liczby pracowników (15 zdarzeń, co stanowi 18%),
- niewystarczający system wykrywania i monitorowania, który pozwoliłby na szybsze ostrzeżenie i łagodzenie skutków niedziałania systemu zabezpieczeń (9 przypadków, co stanowi 11%),
- ograniczona dostępność jednostek straży pożarnej (6 zdarzeń),
- magazynowanie zbyt dużej ilości odpadów (3 zdarzenia).

3.5 Lista kontrolna

Poniżej znajduje się kompleksowa lista kontrolna dostosowana do potrzeb operatorów i inspektorów, których zadaniem jest ocena metod zarządzania bezpieczeństwem w obiektach zajmujących się gospodarką odpadami. Lista kontrolna obejmuje kluczowe zagadnienia wynikające z analizy zdobytych doświadczeń, w tym przestrzegania obowiązujących przepisów prawa, infrastruktury technicznej, procedur operacyjnych i gotowości na wypadek wystąpienia sytuacji awaryjnych. Poprzez regularną weryfikację każdej pozycji na liście kontrolnej, operatorzy i inspektorzy mogą przeprowadzić dokładną ocenę oraz poprawę standardów bezpieczeństwa w obiektach gospodarki odpadami.

Lista kontrolna dla operatorów oraz inspektorów	
1.	Czy do klasyfikacji odpadów pozyskiwane są szczegółowe analizy chemiczne, wykraczające poza dokumentację przewozową? Czy w interpretację wyników analiz

	chemicznych, w celu uzyskania pełnego rozeznania dot. właściwości niebezpiecznych odpadów, zaangażowani są eksperci?
2.	Czy ocena ryzyka uwzględnia ogólny profil ryzyka, w tym zagrożenia związane z niezadziałaniem zabezpieczeń lub zmieszaniem niekompatybilnych substancji? Czy ocena ryzyka uwzględnia również emisje, które mogą wystąpić podczas normalnej pracy związanej z przetwarzaniem odpadów?
3.	Czy istnieje procedura systematycznej analizy zdarzeń, dokumentowania i rozpowszechniania poczynionych ustaleń na każdym poziomie zarządzania obiektem? Czy dostosowanie bieżących sposobów postępowania i procedur przyjmowania odpadów uwzględnia ww. ustalenia?
4.	Czy istnieją programy szkoleniowe dla nowych pracowników? Czy personel zajmujący się przeładunkiem, załadunkiem lub rozładunkiem przeszedł szkolenia w zakresie międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych?
5.	Czy miejsca przeładunku/składowania łatwopalnych odpadów niebezpiecznych wyposażone są w detektory podczerwieni lub inne tego typu urządzenia?
6.	Czy istnieje strategiczny podział obszarów na strefy, w oparciu o klasyfikację odpadów niebezpiecznych w celu zmniejszenia ryzyka związanego ze zmieszaniem niekompatybilnych materiałów?
7.	Czy wdrożono system zapewniający terminowe sortowanie i przetwarzanie odpadów niebezpiecznych? Czy system ten jest dostępny dla pracowników zajmujących się przetwarzaniem odpadów?
8.	Czy w celu wyeliminowania możliwości przekroczenia dopuszczalnych ilości przetwarzanych odpadów, istnieje dokładna ocena ryzyka uwzględniająca sezon urlopowy pracowników, a także okresy przestoju sprzętu?
9.	Czy istnieją procedury kontroli dokumentacji przewozowej, wypełniania list kontrolnych i weryfikacji przyjmowanych odpadów?
10.	Czy istnieją procedury dotyczące odmowy przyjęcia dostawy odpadów w przypadku stwierdzenia niezgodności będącej wynikiem przeprowadzonej kontroli? Czy istnieje obszar kwarantanny objęty odpowiednim monitoringiem dla takiej dostawy odpadów?
11.	Czy istnieje system zarządzania jakością? Czy istnieje wewnętrzny system kontroli jakości? Czy pracownicy zajmujący się odbiorem wstępnym odpadów mają możliwość zgłaszania potencjalnych niezgodności do systemu zarządzania jakością?

4. Wnioski

Różnorodność działań prowadzonych w obiektach gospodarki odpadami przekłada tak samą liczną ilość możliwych scenariuszy awarii z udziałem substancji chemicznych. Aby skutecznie zapobiegać i ograniczyć zagrożenia z nich wynikające, należy wdrożyć odpowiednie środki techniczne oraz organizacyjne dostosowane do każdego ze scenariuszy. Poprzez ukierunkowanie działań operacyjnych można uniknąć wielu awarii i zdarzeń. Podczas identyfikacji powtarzających się scenariuszy, konieczne jest przeprowadzenie dokładnych analiz ryzyka dla każdego przypadku, przeznaczając odpowiednie środki aby zapobiec wystąpieniu awarii. W dynamicznie zmieniającym się sektorze przetwarzania odpadów, gdzie stale zmieniają się wymagania dotyczące przetwarzanych odpadów oraz pojawiające się wraz z nimi zagrożenia (np. recykling akumulatorów z pojazdów elektrycznych), należy zwrócić szczególną uwagę na ryzyko związane z nowo opracowywanymi procedurami ich przetwarzania.

Nauka płynąca z niniejszego opracowania powinna być wykorzystana przez operatorów i inspektorów w celu lepszego zarządzania ryzykiem w obiektach gospodarki odpadami, poprzez wprowadzenie usprawnień w protokołach bezpieczeństwa, procedurach operacyjnych i strategiach reagowania kryzysowego. Wykorzystując wiedzę zdobytą podczas badania, operatorzy i inspektorzy mogą wyeliminować słabe punkty i wdrożyć środki zapobiegawcze w celu skutecznego ograniczenia ryzyka. Podejście oparte na wzajemnej współpracy sprzyja wprowadzeniu udoskonaleń, zwiększając ogólne bezpieczeństwo w obiektach gospodarki odpadami.