

Analiza numeryczna zdarzenia związanego z niekontrolowanym uwolnieniem amoniaku z cysterny kolejowej

Norbert TUŚNIO¹

Streszczenie

Numeryczne narzędzia inżynierskie znajdują coraz szersze zastosowanie we wspieraniu decyzji kierujących działaniami ratowniczymi na poziomie taktycznym i strategicznym. W artykule przedstawiono jedno z zastosowań takiego oprogramowania w przypadku niekontrolowanej emisji substancji niebezpiecznej. Włączenie modelowania numerycznego, jako elementu wspomagającego dowodzenie, ma wpływ na redukcję kosztów akcji oraz sposób jej prowadzenia. Opisane zdarzenie przybliży również możliwości stosowania tych metod przez osoby nie związane bezpośrednio z ratownictwem chemicznym i ekologicznym. Przykład ten może stać się podstawą do opracowania scenariuszy ćwiczeń, w tym próbnych ewakuacji, dla osób odpowiedzialnych w strukturach kolei za ich planowanie i organizację.

Słowa kluczowe: ratownictwo chemiczne, modelowanie dyspersji, ALOHA

1. Wstęp

W artykule przedstawiono praktyczne zastosowanie jednego z narzędzi, pochodzących z obszaru nauk inżynierskich, w operacjach ratowniczych na poziomie taktycznym lub strategicznym. Modelowanie dyspersji par cieczy i gazów jest obecnie elementem szkolenia każdego przyszłego oficera Państwowej Straży Pożarnej (PSP). Na pojedynczym, konkretnym przypadku (ang. *study case*), wykazano zasadność takiego podejścia przez osoby odpowiedzialne za treści programowe w szkołach pożarniczych oraz osiągnięte korzyści operacyjne z punktu widzenia kierującego działaniem ratowniczym – KDR [7]. Za przykład posłużyło zdarzenie z dnia 21 stycznia 2018 r. w miejscowości Kuźnica, gdzie nastąpiło rozszczelnienie cysterny kolejowej zawierającej amoniak.

2. Opis narzędzia – program ALOHA

Najbardziej aktualnym wydaniem programu ALOHA, jest wersja 5.4.7 z września 2016 r. Umożliwia ona wprowadzenie szczegółów dotyczących rzeczywistego lub potencjalnego uwolnienia substancji chemicznych, a następnie wygenerowanie szacunkowej strefy zagrożenia dla różnych rodzajów zdarzeń. Przy uży-

ciu ALOHA można modelować toksyczne lub palne chmury gazowe, zjawisko BLEVE (wybuch rozszerzających się par wrzącej cieczy), pożary strumieniowe, powierzchniowe i wybuchy chmur par cieczy [1].

Odwzorowaniem przeprowadzonej w programie symulacji są obszary ograniczone izoplejami (linie łączące punkty o jednakowej wartości stężenia substancji) [3]. Oszacowania stref zagrożenia są pokazane na siatce i mogą być również wykreślone na mapach w programach MARPLOT®, ArcMap firmy Esri, Google Earth i Google Maps. Odpowiednie kolory obrazują poziomy zagrożenia: od najwyższego (czerwony) do obszarów o niższym zagrożeniu (pomarańczowy i żółty).

ALOHA w najnowszej wersji zawiera zaktualizowaną bibliotekę substancji chemicznych, opracowaną w amerykańskim Design Institute for Physical Properties i nowe progowe wartości stężeń (PAC – *Protective Action Criteria for Chemicals* i ERPG – *Emergency Response Planning Guidelines*). Wielkości stref zagrożenia, w zależności od konsekwencji ich oddziaływania na człowieka bez środków ochrony indywidualnej, są wyznaczone na podstawie wymienionych dalej kryteriów.

Ze względu na kraj pochodzenia oprogramowania, stężenia graniczne są przyjęte zgodnie z definicjami i wytycznymi amerykańskich instytutów naukowych oraz badawczych (dostępne do wyboru progowe war-

¹ Mł. bryg., dr inż.; Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Katedra Działań Ratowniczych, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa i Ochrony Ludności; e-mail: ntusnio@sps.edu.pl.

tości stężeń to kolejno: AEGL, ERPG, PAC i IDLH). Występują trzy poziomy AEGL (*Acute Exposure Guideline Levels*) określające stopień zagrożenia organizmu w kontakcie z substancją chemiczną, zdefiniowane w następujący sposób przez EPA (*United States Environmental Protection Agency*, Agencja Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych):

1. AEGL-1 – wartość stężenia substancji toksycznej w powietrzu (wyrażona w mg/m³ lub ppm), powyżej której wszystkie osoby znajdujące się w jej strefie mogą odczuć dyskomfort, podrażnienie lub bezobjawowe efekty działania, które są odwracalne;
2. AEGL-2 – wartość stężenia substancji toksycznej w powietrzu (wyrażona w mg/m³ lub ppm), powyżej której wszystkie osoby znajdujące się w jej strefie poniosą nieodwracalny uszczerbek na zdrowiu;
3. AEGL-3 – wartość stężenia substancji toksycznej w powietrzu (wyrażona w mg/m³ lub ppm), powyżej której wszystkie osoby znajdujące się w jej strefie ulegną długotrwałym poważnym skutkom zdrowotnym lub poniosą śmierć.

W modelu zaimplementowano dawki na podstawie wyników badań Komitetu Toksykologii Narodowej Rady ds. Badań Naukowych (*National Research Council's Coommittee on Toxicology*). Wszystkie trzy poziomy (AEGL-1, AEGL-2 i AEGL-3) opracowano dla pięciu okresów ekspozycji: 10, 30, 60 minut oraz 4 i 8 godzin.

Inną skalą zagrożenia jest ERPG (*Emergency Response Planning Guidelines*), która zawiera progowe wartości stężeń do przewidywania niekorzystnych efektów dla zdrowia ludzkiego, spowodowanych ekspozycją jednostki na działanie toksyn (dane AIHA – *American Industrial Hygiene Association*, Stowarzyszenie Higieny Przemysłowej):

1. ERPG-1 – określa maksymalne stężenie, poniżej którego przypuszczalnie prawie wszystkie jednostki mogą być ekspozowane na działanie toksyny w czasie 1 godziny, bez doświadczenia innych efektów niż łagodnych, nietrwałych skutków niekorzystnych dla zdrowia ludzkiego lub niepożądanych, wyraźnie dostrzegalnych symptomów;
2. ERPG-2 – określa maksymalne stężenie, poniżej którego przypuszczalnie prawie wszystkie jednostki mogą być ekspozowane na działanie toksyny w czasie 1 godziny bez doświadczenia lub rozwoju nieodwracalnych albo innych poważnych, niekorzystnych dla zdrowia efektów, bądź symptomów pogarszających zdolności indywidualne do podjęcia samodzielnych akcji ochronnych;
3. ERPG-3 – określa maksymalne stężenie, poniżej którego przypuszczalnie prawie wszystkie jednostki mogą być ekspozowane na działanie toksyny w czasie 1 godziny bez doświadczenia lub rozwoju efektów zagrażających życiu ludzkiemu [2].

Istnieją również trzy poziomy wartości PAC (*Protective Action Criteria*), przy czym każda kolejna wartość jest powiązana z coraz silniejszymi skutkami wyższego poziomu narażenia. Wskaźnik IDLH (*Immediately Dangerous to Life or Health*) to najwyższe dopuszczalne stężenie par lub gazów w atmosferze, przy którym przebywanie osób bez ochrony górnych dróg oddechowych i skóry przez 30 minut nie stanowi zagrożenia dla ich zdrowia lub życia (wartości opracowane przez NIOSH – *National Institute for Occupational Safety and Health*, Narodowy Instytut Bezpieczeństwa i Higieny Pracy).

Struktura programu umożliwia dostosowanie parametrów krytycznych dla stężeń substancji niebezpiecznych do wartości zawartych w innych standardach niż amerykańskie. W Polsce wartości graniczne stężeń są opisane w polskich normach określających najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS), najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSCh) lub śmiertelne stężenie inhalacyjne (LC₅₀).

LC₅₀ – stężenie śmiertelne medialne – stężenie substancji, które podane inhalacyjnie zwierzętom doświadczałym przez określony czas, powoduje śmierć 50% zwierząt w badanej grupie.

NDS – najwyższe dopuszczalne stężenie – wartość średnia ważona stężenia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w Kodeksie Pracy, przez okres jego aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w stanie zdrowia osoby narażonej na działanie danej substancji niebezpiecznej oraz w stanie zdrowia przyszłych pokoleń.

NDSCh – najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe – wartość średnia stężenia, które nie powinno spowodować ujemnych zmian w stanie zdrowia pracownika, jeżeli występuje w środowisku pracy:

- nie dłużej niż 15 minut,
- nie częściej niż 2 razy w czasie zmiany roboczej, w odstępie czasu nie krótszym niż 1 godzina [6].

Istotną zmianą z punktu widzenia analizowanego przypadku jest aktualizacja modelu ALOHA o nazwie RAILCAR dla zbiorników cieczy pod ciśnieniem. Udoskonalony submodel jest efektem testów polowych przeprowadzonych przez Naval Surface Warfare Center, Dahlgren Division, w których założono utworzenie „zawieszanej” chmury w postaci mgły. Umożliwia on bardziej precyzyjne oszacowanie faktycznej emisji substancji ze zbiornika pod ciśnieniem w funkcji czasu. Jest to szczególnie istotne w modelowaniu rozprzestrzeniania się chmur toksycznych gazów, pożarów i wybuchów, w celu określenia obszarów, w których mogą być przekroczone wartości krytyczne parametrów i może istnieć zagrożenie dla okolicznej ludności. Badania prowadzono pod względem weryfikacji i urealnienia wpływu amoniaku i chloru ze zbiorników ciśnieniowych przy ich uszkodzeniu.

3. Charakterystyka substancji uwolnionej w przedstawionym przypadku

Granice wybuchowości amoniaku zawierają się pomiędzy 15 a 28% objętości, a temperatura samozapłonu wynosi 630°C. Amoniak jest substancją trudnopalną, choć w mieszaninach zamkniętych, w mieszaninie z powietrzem lub utleniaczem, może utworzyć aerozol palny lub wybuchowy. Katalizatorami są związki rtęci lub pary węglowodorów, np. ze smarów. Uwolnienie się amoniaku na wolnym powietrzu nie stanowi zagrożenia wybuchem. Dodatkowym zagrożeniem jest niebezpieczeństwo rozerwania zbiornika podczas niekontrolowanego podgrzewania, a duże wycieki amoniaku powodują powstanie gęstej mgły ograniczającej widoczność. Przy wdychaniu par amoniaku mogą wystąpić następujące objawy: natychmiastowe podrażnienie oczu, górnych dróg oddechowych, wywołanie kaszlu oraz trudności w oddychaniu. Również krótkotrwałe przebywanie w wyższych stężeniach może doprowadzić do ostrego uszkodzenia płuc. Istnieje ryzyko zgonu osoby poszkodowanej w wyniku obrzęku płuc, nawet po upływie 48 godzin [3, 9].

4. Zasady prowadzenia akcji przy zagrożeniach chemiczno-ekologicznych

Zasady organizacji ratownictwa chemicznego i ekologicznego, w krajowym systemie ratowniczo-gaśniczym, opisano w dokumencie opracowanym przez Komendę Główną PSP [10]. Szczegółowe wytyczne znajdują się w części 5 pt. „Ogólne zasady prowadzenia działań ratownictwa chemicznego i ekologicznego” w rozdziale 5.1. „Działania ratownicze w zakresie ratownictwa chemicznego i ekologicznego”.

W wymienionych zasadach określono, że działania w obszarze ratownictwa chemicznego i ekologicznego w zakresie podstawowym i specjalistycznym powinny być realizowane z zachowaniem reguł bezpieczeństwa określonych w aktualnych przepisach dotyczących BHP. Standardy bezpieczeństwa w ratownictwie chemicznym i ekologicznym wyznaczają główne zasady bezpieczeństwa strażaków lub ratowników. Zasada dotyczy postępowania wstępnego przy docieraniu jednostek na miejsce zdarzenia, a także prawidłowego ustawienia pojazdów ratowniczych. Zalecane są, w miarę możliwości, odpowiedni dojazd do miejsca zdarzenia oraz ustawienie pojazdów od strony nawietrznej na możliwie wysokich partiach terenu. Za minimalną odległość przebywania ludzi od źródła emisji należy przyjąć:

- dla wszelkich substancji stwarzających zagrożenie wybuchem – nie mniej niż 150 m,
- dla substancji, przedmiotów lub obiektów stwarzających zagrożenie skażenia promieniotwórcze-

- go – w zależności od mocy dawki promieniowania ($\mu\text{Sv/h}$), ale nie mniej niż 30 m w terenie otwartym,
- dla pozostałych przypadków – nie mniej niż 50 m.

Według podanych zaleceń Komendy Głównej PSP, można zmienić wstępnie przyjęte minimalne odległości w trzech przypadkach:

- po przeprowadzeniu dokładniejszego rozpoznania sytuacji operacyjnej,
- dokonania pomiarów właściwymi miernikami, które umożliwią dokładne określenie wielkości strefy,
- analizy substancji niebezpiecznej.

Przy ustawianiu pojazdów, należy przewidzieć konieczność szybkiego wycofania sił i środków z uwzględnieniem dynamiki sytuacji. W ocenie wielkości stref zagrożenia i ich potencjalnego przesunięcia uwzględnia się warunki meteorologiczne (temperaturę, opady, wyładowania atmosferyczne i inne). Wpływ na rozmiar stref będą miały również: istniejąca infrastruktura, ukształtowanie oraz inne właściwości terenu (np. zalesienie).

Drugą zasadą odnosi się do doboru środków ochrony osobistej odpowiedniego do zagrożenia i okoliczności zdarzenia. Dobór sprzętu powinien uwzględniać m.in.: stężenia wybuchowe tlenu oraz substancji toksycznych w otoczeniu, właściwości substancji niebezpiecznej oraz odporność sprzętu na czynniki chemiczne.

Priorytetem działań ratowniczych jest ewakuacja osób do wyznaczonej strefy bezpiecznej. Działania w strefie zagrożenia muszą być prowadzone przez jedną rotę odpowiednio przeszkolonych ratowników oraz rotę zabezpieczenia, wyposażoną w identyczne środki ochrony indywidualnej (ŚOI), z zapewnieniem łączności pomiędzy ratownikami oraz Kierującym Działaniem Ratowniczym (KDR).

W celu ograniczenia ekspozycji na czynniki niebezpieczne, należy kontrolować czas przebywania strażaków lub ratowników w strefie zagrożenia oraz unikać wprowadzania nadmiernej ich liczby do strefy bezpośredniego zagrożenia. W zależności od substancji uwolnionej w sposób niekontrolowany, należy przewidzieć obszar i sposób dekontaminacji wstępnej.

Działania interwencyjne muszą opierać się na „regule 10 minut” (proces decyzyjny uwzględnia zmiany sytuacji z wyprzedzeniem 10 minut). Wynika to z faktu, że w przypadku miejscowych zagrożeń jakimi są awarie techniczne, może dojść do gwałtownej zmiany charakteru zagrożeń, czyli pożaru, wybuchu, bądź niebezpiecznej reakcji. Sposób prowadzenia akcji powinien uwzględniać takie prowadzenie działań, aby unikać zbędnego narażenia strażaków lub ratowników podczas działań na oddziaływanie substancji niebezpiecznych.

Podczas skażeń chemicznych, w skład jednostek biorących udział w akcji musi wchodzić odpowiednio wyposażony zespół zabezpieczenia medycznego.

Kierujący działaniem ratowniczym, może odstąpić w trakcie działania ratowniczego od zasad uznanych powszechnie za bezpieczne, zgodnie z obowiązującymi przepisami w tym zakresie.

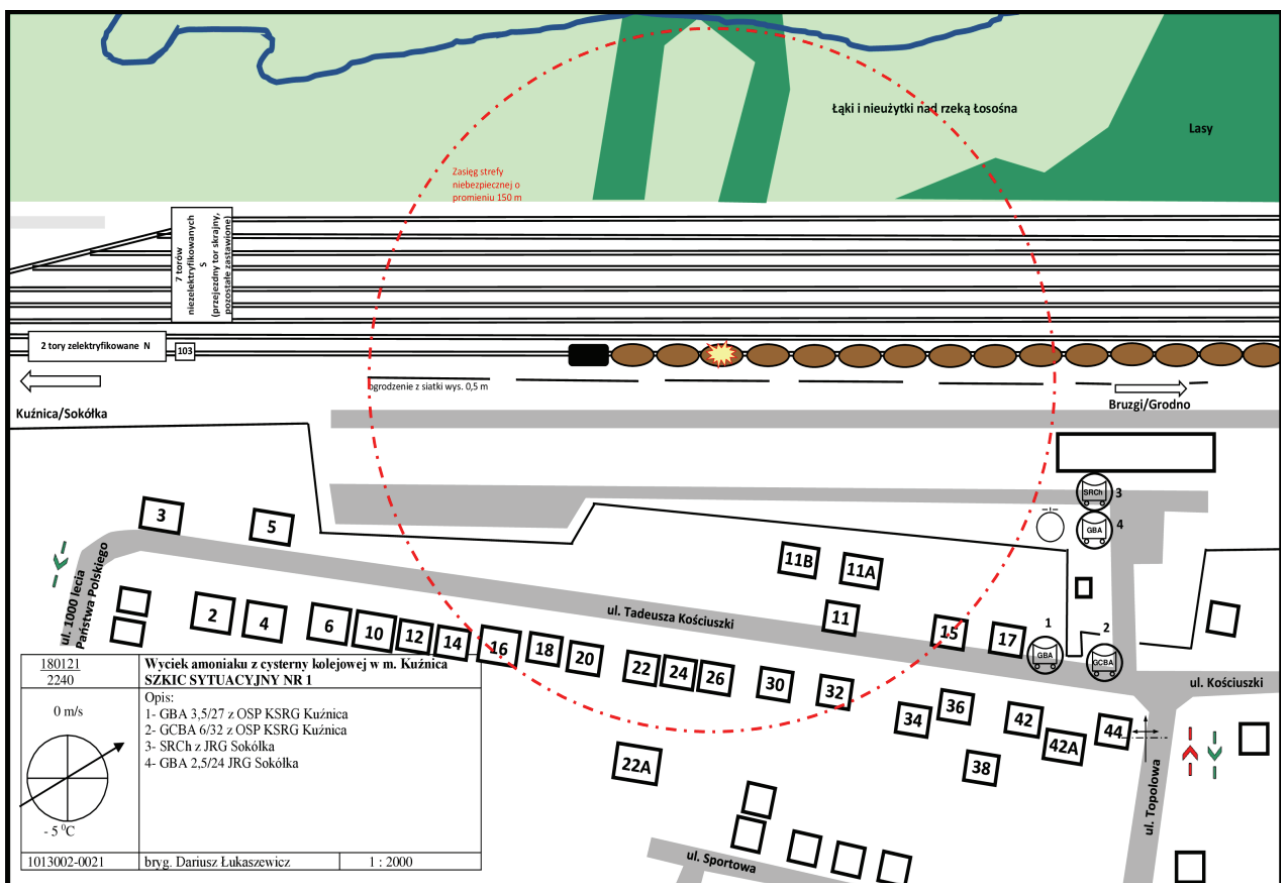
5. Opis zdarzenia

Zdarzenie zaistniało w dniu 21.01.2018 r. na terenie bocznicy kolejowej, będącej miejscem odpraw pociągów towarowych, na Międzynarodowym Kolejowym Przejściu Granicznym w miejscowości Kuźnica. Podczas odprawy celnej, około godziny 22.00, potwierdzono za pomocą detektora wielogazowego iTX, wyciek amoniaku. Źródłem zagrożenia była cysterna kolejowa o pojemności 92 m³ przewożąca 47,1 ton amoniaku bezwodnego (UN 1005), znajdująca się w składzie pociągu towarowego normalnotorowego, złożonego z 32 cystern i lokomotywy. Rozszczelnienie zbiornika nastąpiło prawdopodobnie w wyniku uszkodzenia mechanizmu awaryjnego otwierania zaworu dennego cysterny. Zdarzenie zakwalifikowano jako miejscowe zagrożenie średnie (chemiczne, w komunikacji kolejowej) na powierzchni 70 000 m² [4].

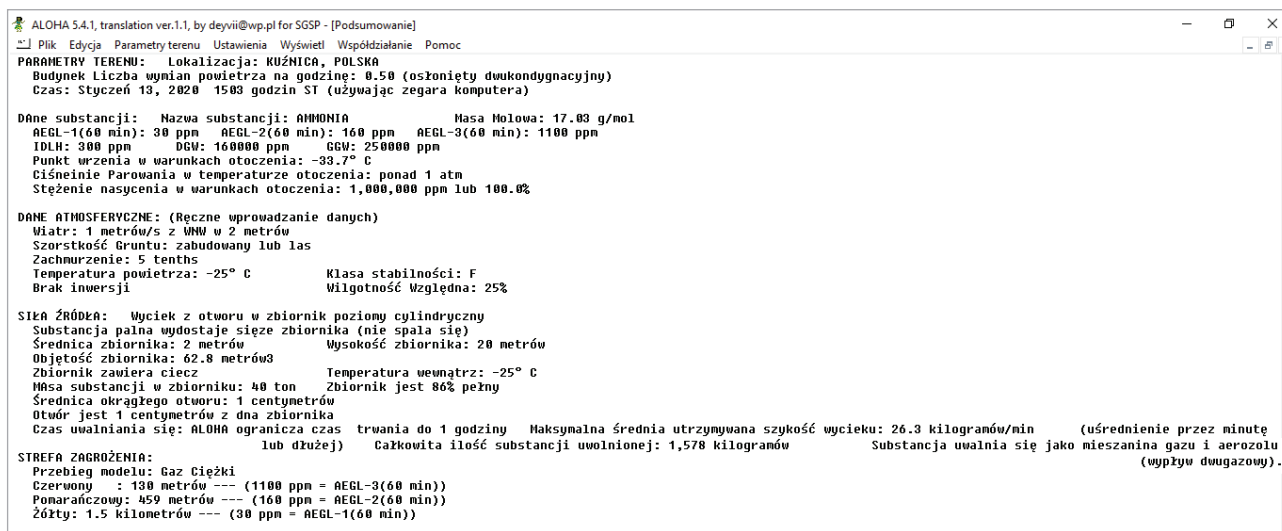
Pierwsze jednostki ochrony przeciwpożarowej z OSP KSRG Kuźnica przybyły na miejsce zdarzenia o godz. 22:28. Zastaną sytuację (rozlokowanie składu pociągu towarowego) pokazano na rysunku 1.

Na miejscu zdarzenia nie stwierdzono osób poszkodowanych. Po dokonaniu rozpoznania, rozpoczęto działania ratownicze, które zakończono w dniu 24.01.2018 r. o godz. 7.00, co daje łączny czas interwencji około 58 godzin.

W rozpoznaniu bezpośrednim stwierdzono widoczne zamrożenie, świadczące o możliwości wycieku amoniaku (pod zaworem dennym cysterny). Podczas sprawdzania uszkodzonej cysterny za pomocą detektorów zmierzono stężenie amoniaku w przedziale 20–40 ppm, występujące w bezpośrednim sąsiedztwie zaworu dennego, natomiast w odległości około 30–50 cm od zaworu nie wykryto emisji. Wartość temperatury, zarejestrowana przez kamerę termowizyjną, wynosiła –7°C. Podczas dalszych działań, na zaworku zlokalizowanym pod zaworem dennym cysterny okresowo pojawiał się niewielki wyciek fazy gazowej lub kropli fazy płynnej amonia-



Rys. 1. Wyciek amoniaku z cysterny kolejowej w m. Kuźnica – szkic sytuacyjny [4]



Rys. 2. Dane wejściowe wprowadzone do programu ALOHA [opracowanie Sztab akcji, mł. bryg. Marcin Anszczak – grupa operacyjna KW PSP Białystok]

ku – chwilowe stężenie przy zaworze dennym wzrastało wówczas do wartości około 100 ppm, maksymalna strefa zagrożenia nie przekraczała jednak 0,5 m.

W obszarze zagrożonym znajdowały się budynki mieszkalne i dlatego, po wyznaczeniu strefy bezpieczeństwa o promieniu 150 m, rozpoczęto ewakuację ludności. Przyjęcie takiej odległości wynikało bezpośrednio z zasad podanych w [10]. Na podstawie tej decyzji, w I fazie działań szacunkowo określono, że należy ewakuować ludzi z około 15 budynków mieszkalnych. Przy niesprzyjających warunkach atmosferycznych w czasie prowadzenia akcji mogło wystąpić zagrożenie, skutkujące koniecznością ewakuacji osób z dużego obszaru miejscowości Kuźnica.

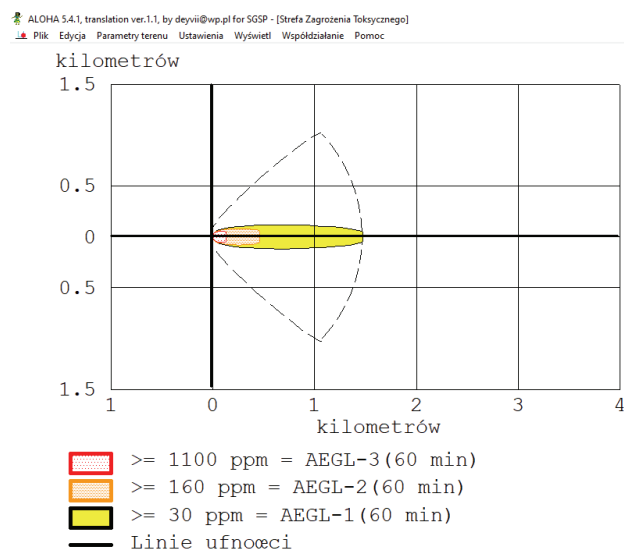
Po przybyciu na miejsce zdarzenia kierującego działaniem ratowniczym na poziomie taktycznym, teren akcji podzielono na dwa odcinki bojowe (OB):

- I OB obejmujący miejsce bezpośrednich działań ratowniczych na terenie PKP – działania prowadziła JRG Sokółka oraz Specjalistyczna Grupa Ratownictwa Chemicznego „Białystok” COO poziomu C;
- II OB obejmujący część ulicy Tadeusza Kościuszki przeznaczoną do ewakuacji oraz zabezpieczenia przed dostępem osób postronnych – działania prowadziły jednostki OSP KSRG Kuźnica.

W celu dokładniejszego wyznaczenia stref niebezpiecznych, w dniu 22.01.2018 r. powołany Sztab akcji wykonał obliczenia za pomocą oprogramowania ALOHA i prognozowanie rozprzestrzeniania się strefy w sytuacji niekontrolowanego wycieku amoniaku. Parametry wejściowe wprowadzone do modelu przedstawiono na rysunku 2.

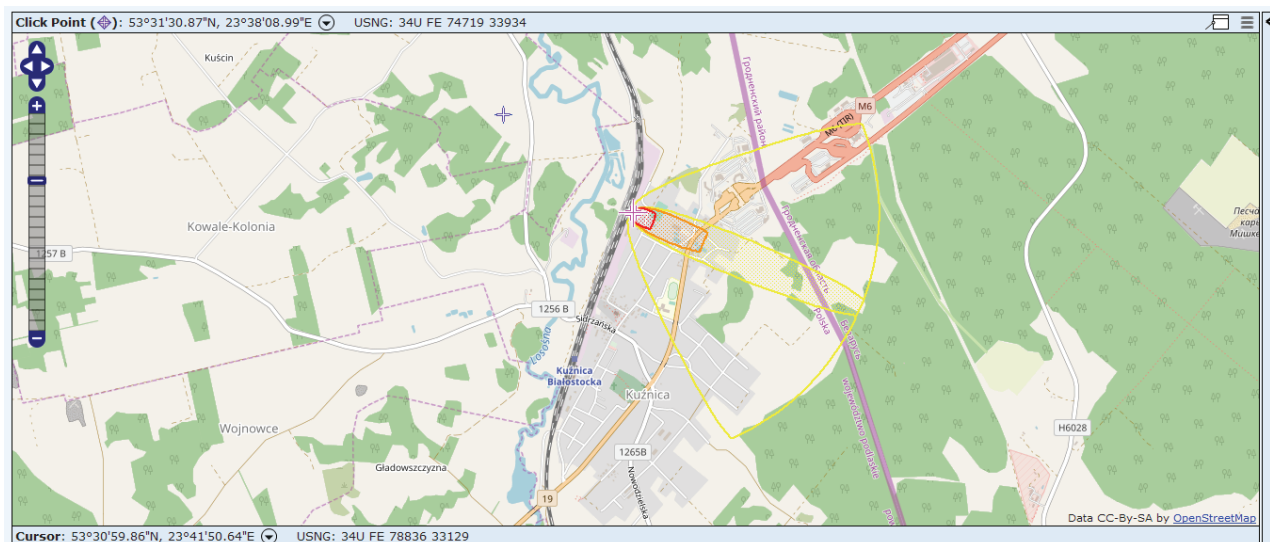
Korzystając z rezultatów przeprowadzonych obliczeń, kierujący działaniami ratowniczymi (KDR)

podjął decyzję o zmniejszeniu strefy zagrożenia. Wizualizację wyników symulacji przedstawiono na rysunku 3 (symulacja wielkości strefy zagrożenia) oraz na rysunku 4 (strefa zagrożenia naniesiona na mapę terenu). Wykorzystano również możliwość naniesienia izoplek na rzeczywistą mapę terenu.



Rys. 3. Wynik symulacji strefy zagrożenia w programie ALOHA (progowe wartości stężeń według AEGL) [opracowanie Sztab akcji, mł. bryg. Marcin Anszczak – grupa operacyjna KW PSP Białystok]

Dzięki decyzji o zmniejszeniu strefy zagrożenia, podjętej w dniu 22.01.2018 r. o godz. 2.00, umożliwiono mieszkańcom powrót do domów oraz zlikwidowano odcinki bojowe. Kolejnym pozytywnym aspektem wykorzystania modelowania numerycznego była zgoda na przywrócenie kolejowego ruchu transgranicznego.



Rys. 4. Wynik symulacji strefy zagrożenia w programie ALOHA na mapie terenu (progowe wartości stężeń naniesione na rzeczywistą mapę terenu) [opracowanie Sztab akcji, mł. bryg. Marcin Anszczak – grupa operacyjna KW PSP Białystok]

6. Podsumowanie i wnioski

Znaczenie opisanego problemu uwypuklają statystyki interwencji Państwowej Straży Pożarnej, z których wynika przykładowo, że w 2019 r. na kolei w ruchu towarowym wystąpiło 109 zdarzeń podobnych do opisanego, dotyczących wagonów towarowych i cystern. Z tego powodu, właściwe służby ratownicze (straż pożarna, Kolejowe Ratownictwo Techniczne) muszą być odpowiednio przygotowane do ich likwidacji, a ich rozmieszczenie powinno zapewnić dojazd na miejsce katastrofy w krótkim czasie.

Poprzednie zdarzenia związane z wyciekiem amoniaku z cystern kolejowych w Kuźnicy miały miejsce w dniu 6.03.2002 r. (wyciekło około 100 kg amoniaku z 10 rozszczelnionych na zaworach spustowych cystern) oraz w dniu 26.08.2002 r. (wyciekło około 5 kg amoniaku z rozszczelnionej na zaworach spustowych cysterny). Natomiast w dniu 10.04.2003 r. doszło do wycieku resztek gazu propan-butan z cysterny kolejowej szerokotorowej po rozładunku.

Bardzo groźne w skutkach niekontrolowane uwolnienie się substancji niebezpiecznej (gazu LPG) w transporcie kolejowym, nastąpiło 8.11.2010 r. w Białymstoku, gdzie powierzchnia powstałego pożaru wyniosła około 5 000 m². Dwie lokomotywy spalinowe, dziewiętnaście cystern, dwa wagony towarowe oraz budynek nastawni kolejowej spaliły się. Działania straży pożarnej umożliwiły ocalenie dwóch budynków należących do PKP PLK, dwunastu cystern z produktami ropopochodnymi, dwóch cystern z LPG i kilkudziesięciu wagonów kolejowych ze składów biorących udział w zdarzeniu oraz stojących na sąsiednich torach [8].

W artykule wykazano zasadność korzystania z zaawansowanych narzędzi inżynierskich we wspomaganie decyzji kierującego działaniem ratowniczym. Urealnienie potencjalnych zagrożeń, wynikających w tym przypadku z uwolnienia substancji niebezpiecznej (amoniaku), umożliwiło ograniczenie zaangażowania sił i środków KSRG z województwa podlaskiego, powrót mieszkańców do domów oraz udrożnienie kolejowego ruchu międzynarodowego. Poza aspektem czysto ludzkim, jakim było ograniczenie ewakuacji osób postronnych znajdujących się już poza obszarem zagrożonym, bardzo istotny jest element związany z ekonomiką prowadzenia działań ratowniczych i ich konsekwencji w szerszym spojrzeniu. Utrzymywanie powiększonego stanu osobowego i sprzętowego na miejscu zdarzenia, gdzie jest to niezbędne z punktu widzenia kontroli zagrożeń, to nie tylko koszty związane z wynagrodzeniami ratowników lub eksploatacją pojazdów i urządzeń. Powoduje to również osłabienie możliwości interwencyjnych KSRG (gotowości bojowej) w przypadku powstania innych zdarzeń takich, jak pożary lub miejscowe zagrożenia w rejonie operacyjnym jednostek oddelegowanych do działań. Również przywrócenie ruchu kolejowego przed ostatecznym zakończeniem operacji ma niebagatelny wpływ na finansowe konsekwencje zdarzenia. Do zaoszczędzonych kwot należą nie tylko te bezpośrednio związane z kosztami akcji. Wcześniejsze zakończenie działań ratowniczych ma wpływ na wysokość kar umownych, wynikających z niedotrzymania terminów dostaw dla przewoźników kolejowych. Takie opóźnienia mogą skutkować zakłóceniami produkcji u odbiorcy, a także wzrostem kosztów wynajmu składów kolejowych. Z tych względów

oddelegowanie oficera, doświadczonego w obsłudze programów służących do modelowania zjawisk fizykochemicznych, powinno być stałym elementem planowania, uwzględnionym w procedurach działań na poziomie taktycznym i strategicznym.

Literatura

1. ALOHA Software, WWW <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software> [dostęp 9.01.2020].
2. Astel A.: *Symulacja komputerowa jako narzędzie przewidywania skutków katastrof w przemyśle chemicznym*, Problemy Ekologii, 2007, vol. 11, nr 3.
3. Karta charakterystyki amoniaku bezwodnego, WWW http://static.grupaazoty.com/files/420e6d36/sds_es_amoniak_bezwodny_wersja_05_22062015_pl.pdf [dostęp 10.01.2020].
4. Łukaszewicz D. (przew. zespołu): *Analiza zdarzenia. Wyciek amoniaku z cysterny kolejowej powstały w dniu 21 stycznia 2018 r. w miejscowości Kuźnica, gm. Kuźnica*, Komenda Powiatowa PSP w Sokółce, Sokółka 2018.
5. Majder-Łopatka M., Salamonowicz Z.: *Prognozowanie zasięgu strefy zagrożenia toksycznego przy pomocy programu komputerowego ALOHA*, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa, 2010.
6. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz.U. z 2018 r., poz. 1286.
7. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 4 lipca 1992 r. w sprawie zakresu i trybu korzystania z praw przez kierującego działaniem ratowniczym, Dz.U. z 1992 r., nr 54, poz. 259.
8. Węsierski T. et.al.: *Niekontrolowane uwolnienie się substancji niebezpiecznych w transporcie kolejowym. Białystok 2010. Analiza skutków oraz przyczyn katastrofy*, Problemy Kolejnictwa, 2013, zeszyt 161.
9. Zagrożenia amoniakalnych instalacji chłodniczych i systemy ich zabezpieczeń, WWW <https://www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl/artykuly/79-wydanie-102007/447-zagrozenia-amoniakalnych-instalacji-chlodniczych-i-systemy-ich-zabezpieczen.html> [dostęp 10.01.2020].
10. Zasady organizacji ratownictwa chemicznego i ekologicznego w krajowym systemie ratowniczo-gaśniczym, Komenda Główna PSP, Warszawa, 2013.