

dr **Tomasz WĘSIERSKI**

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

mgr inż. **Monika NAGRODZKA**

Centrum Naukowo Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej

Państwowy Instytut Badawczy

WYPADEK KOLEJOWY W SZCZYGŁOWICACH. PRZEBIEG ZDARZENIA ORAZ ANALIZA ZAGROŻEŃ RZECZYWISTYCH ORAZ POTENCJALNYCH

The rail accident in Szczygłowice. The case study and an analysis of potential hazards

Streszczenie

Nie jest tajemnicą iż stan polskich torowisk nie należy do najlepszych, zwłaszcza na terenie województwa śląskiego. Prędkość dopuszczalna pociągów na odcinku między Knurówem a Szczygłowicami wynosi zaledwie 30 km/h. Niestabilność nasypu kolejowego było przyczyną wypadku jaki zdarzył się w okolicach Szczygłowic 23 maja 2002 r. w wyniku którego wykolejeniu uległ pociąg towarowy posiadający w swym składzie między innymi cysternę zawierającą amoniak oraz n-oktanol. Cysterna z n-oktanołem uległa wywróceniu na bok oraz rozszczelnieniu w sposób umożliwiający wyciek praktycznie połowy zawartości cysterny. Cysterna z amoniakiem uległa natomiast zsunięciu jedną osi z toku szyn.

W artykule dokonano analizy zagrożeń występujących na miejscu zdarzenia jak i również działań ratowniczych tam przeprowadzonych. Uwzględniono między innymi właściwości fizykochemiczne chemiczne 1-oktanolu oraz amoniaku. Na podstawie dostępnej dokumentacji tekstowej oraz zdjęciowej udostępnionej przez KM PSP w Gliwicach oszacowano wielkość rozszczelnienia oraz ładunku przewożonego w wykolejonych wagonach. W analizie uwzględniono panujące warunki atmosferyczne. Wykorzystując program ALOHA 5.4.1.2 dokonano wyznaczenia wielkości strefy zagrożenia toksykologicznego oraz wybuchowego dla 1-oktanolu dla zaistniałej wielkości rozszczelnienia (33 x 8 cm). Dodatkowo dokonano analizy hipotetycznego zagrożenia jakie miałyby miejsce w przypadku analogicznego rozszczelnienia cysterny z amoniakiem oraz w przypadku gdy uszkodzeniu uległyby zawory wyladowcze cysterny. Drugie założenie było o tyle istotne, iż w przypadku innego układu wagonów w składzie pociągu wywróceniu uległaby cysterna z amoniakiem. Zważywszy na dużo większą odporność cystern ciśnieniowych największe prawdopodobieństwo uszkodzenia istniałoby właśnie dla zaworów wyladowczych.

Publikacja posiada naukowe elementy analizy wplecione w ocenę działań ratowniczych mających miejsce podczas tego zdarzenia. Zważywszy na stosunkowo nieodległy czas prowadzenia działań oraz stosunkowo niewielkie zmiany w wyposażeniu jakie nastąpiły w tym okresie publikacja posiada element praktyczny możliwy do wykorzystania przez ratowników w analizie podobnych zdarzeń.

Summary

It is no secret that condition of trackways are insufficient especially in Silesia. Speed limit on the section between Knurów and Szczygłowice is only 30 km / h. Instability of the railway embankment was the cause of an accident that happened around Szczygłowice (23 May 2002) resulting in the derailment of a goods train. The tank with 1-octanol was tipping to one side and broken and almost half of the content leaked. The tank with ammonia derailed only with one axle without failure. This article analyzes the potential and real hazards in time of rescue operation taking into account inter alia physical and chemical properties of 1-octanol and ammonia. On the basis of the available text and photo documentation from City Headquarters of State Fire Service in Gliwice was possible to estimate size of the leakage of cargo carried in the derailed cars. The analysis takes into account the prevailing weather conditions. Using the ALOHA 5.4.1.2 were determined toxicological and flammable zones for 1-octanol leakage (33 x 8 cm). In addition an analysis of a hypothetical risk for ammonia tank damage was made especially with assumption of failure of discharge valves which is the most probable. The publication is a scientific analysis braided into the assessment of rescue operations taking place during this event. Because of relatively small changes in basic equipment that have occurred since 2002 the publication has a practical element capable of being used by rescuers in the analysis of similar events.

Słowa kluczowe: ratownictwo chemiczne, ryzyko związane z amoniakiem, 1-oktanol, strefa zagrożenia, wyciek;

Keywords: chemical rescue, ammonia hazards, 1-octanol, danger zone, leakage;

23 maja 2002 roku o godz. 14.18 w okolicach Szczygłowic na dwutorowym szlaku kolejowym Zabrze Makoszowy-Leszczyny uległ wypadkowi pociąg towarowy, którego prawdopodobną przyczyną była niestabilność nasypu kolejowego. W wypadku tym uległ wykolejeniu elektrowóz, cysterna z 1-oktanołem oraz trzy wagony towarowe (zdj. 1-3). Elektrowóz oraz cysterna kolejowa z 1-oktanołem leżały wywrócone na skarpie, na prawym boku w kierunku jazdy pociągu. Wypadek zauważył dyżurny ruchu PKP PLK o godzinie 14:20. Na miejsce zdarzenia zadysponowane zostały zastępy ratownicze JRG Knurów. Z cysterny kolejowej leżącej na około 15 metrowym nasypie z dużą intensywnością wylewał się 1-oktanol. W bliskim sąsiedztwie rozszczelnionej cysterny znajdowała się cysterna z amoniakiem nie wykazująca jednakże oznak uszkodzenia.



Fot. 1. Wykolejona część składu pociągu [1]

Photo. 1. Derailed part of the train [1]



Fot. 2. Widok na wykolejoną cysterne z 1-oktanołem oraz na stojącą na torowisku cysterne z amoniakiem [1].

Photo. 2. View on the derailed tank with 1-octanol and standing on the trackway tank with ammonia [1]



Fot. 3. Miejsce rozszczelnienia cysterny z 1-oktanołem [1].

Photo 3. Place of discharge of 1-octanol [1].

Przebieg akcji ratowniczej

Akcja ratownicza rozpoczęła się od godziny 14:43 (23 maja 2002 r.) od przybycia na miejsce zdarzenia zastępów JRG Knurów (GCBA 5/24; SLRt; SLKw) wraz z zastępcą dowódcy jednostki. Zakończenie dwudniowych działań miało miejsce o godzinie 12:10 dnia następnego wraz z protokolarnym przekazaniem miejsca zdarzenia przedstawicielom PKP. Do zdarzenia zadysponowano również zastępy JRG Gliwice-Łabędy (GCBA 5/24; SRt (RW-2); SCRChem, SLOp) oraz JRG Katowice-Piotrowice (GBA 2/25, SRt, SCRChem, SOp). Poszczególne elementy przebiegu działań ratowniczo-gaśniczych w rozbiciu na dni przedstawiono odpowiednio w tabeli 1 oraz 2 [1].

Tabela 1.

Przebieg działań ratowniczych w dniu 23 maja 2002 r.[1]

Table 1.

The course of rescue operations in on 23 May 2002 [1]

Godzina	Działania ratownicze
14:43	Przybycie na miejsce akcji pierwszych zastępów (JRG Knurów: GCBA 5/24; SLRt; SLKw) 23 minuty po zauważeniu wypadku przez dyżurnego PKP PLK. Ocena sytuacji na miejscu zdarzenia wraz z podjęciem wstępnych działań zabezpieczających. Zadysponowano pomoc medyczną dla poszkodowanego maszynisty
14:53	Wydano polecenie zadysponowania cysterny samochodowej oraz kolejowej w związku z wyciekiem 1-oktanolu
15:10	Przyjazd pierwszego plutonu chemicznego z JRG Gliwice Łabędy

15:25	Zadysponowano ZSR KWK Knurów wraz z 50 beczkami o pojemności 50 litrów. Zadysponowano liny stalowe celem zabezpieczenia cysterny z amoniakiem
16:01	Zbieranie i pompowanie do zbiorników chemoodpornych 1-oktanolu
17:05	Przyjazd pierwszego pociągu ratunkowego oraz zadysponowanie drugiego pociągu stacjonującego we Wrocławiu
18:31	Zadysponowanie na miejsce zdarzenia przedstawicieli WIOŚ
18:40	Przejęcie przez policję zadysponowanej cysterny samochodowej z RINNEN Kędzierzyn Koźle
19:00	Rozpoczęto przepompowywanie 1-oktanolu do podstawionej cysterny samochodowej
19:40	Cysterna kolejowa z 1-oktanolem zostaje opróżniona. Trwa odczepienie części składu pociągu przez pracowników PKP.
20:50	Powrót plutonów chemicznych JRG Katowice-Piotrowice oraz Gliwice-Łabędy do macierzystych jednostek
22:30	Powrót zastępu JRG Knurów oraz podmiana ratowników przez zastęp JRG Gliwice

Tabela 2.

Przebieg działań ratowniczych w dniu 24 maja 2002 r.[1]

Table 2.

The course of rescue operations in on 24 May 2002 [1]

Godzina	Działania ratownicze
01:25	Przybycie na miejsce akcji pociągu ratunkowego z Wrocławia
02:30	Zdjęcie trakcji nad uszkodzonymi wagonami
07:05	Powrót zastępu JGR Knurów celem dokonania podmiany
9:12	Kontrola ciekłu wodnego przez pracowników WIOŚ oraz rozpoczęcie prac podnoszenia cysterny
10:10	Podniesienie cysterny. Ustawienie jej na torach.
12:10	Zakończenie działań ratowniczych i przekazanie protokolarnie miejsca zdarzenia pracownikom PKP

Teren działań został podzielony na dwa odcinki bojowe (rys. 1). Zakres działań odcinka OB. I obejmował teren nasypu kolejowego wraz z wykolejonymi wagonami. Miejscem działań odcinka OB. II był natomiast teren pod nasypem, gdzie w ramach działań prowadzono zbieranie oraz przepompowywanie 1-oktanolu. Przybyła na miejsce karetka pogotowia udzieliła jedynie pomocy medycznej maszyniście elektrowozu.

Warunki atmosferyczne panujące na miejscu zdarzenia

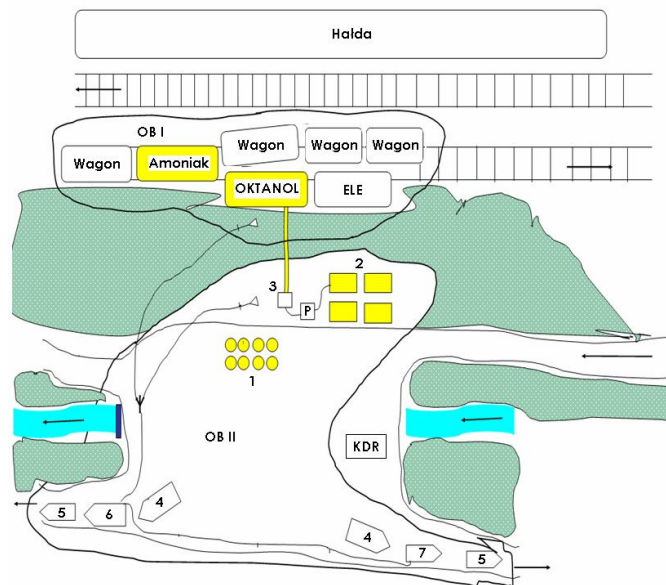
Pierwszego dnia prowadzenia działań w jego początkowej fazie panowała temperatura 26°C. Wiatr wiał w kierunku północno-wschodnim z prędkością 2 m/s. Niebo było bezchmurne. Wilgotność względna powietrza wynosiła 58% natomiast ciśnienie 1007 hPa. Zważywszy na fakt likwidacji bezpośrednich skutków rozszczelnienia cysterny w pierwszym

dniu działań tylko dane pogodowe z tego dnia będą brane pod uwagę w części obliczeniowej niniejszej publikacji.

Analiza zagrożeń występujących na miejscu zdarzenia

W wyniku wykolejenia rozszczelnieniu uległa cysterna z 1-oktanołem. Znajdująca się niedaleko cysterna z amoniakiem uległa wykolejeniu jedynie jedną osią. Oszacowane rozszczelnienie cysterny z 1-oktanołem miało wielkość przybliżoną polem prostokąta o wymiarach 33 x 8 cm. Analizę wielkości zagrożenia wykonano z użyciem programu ALOHA 5.4.1.2. Analiza uwzględnia maksymalne parametry zagrożenia jakie mogłyby mieć miejsce w przypadku uwolnienia się 1-oktanolu oraz amoniaku przez rozszczelnienie o wymiarach 33 x 8 cm. Dla prowadzonej akcji, obejmującej jedynie rozszczelnienie cysterny z 1-oktanołem, zagrożenie było zdecydowanie mniejsze niż przewidywania programem ze względu na niemożliwość równomiernego gromadzenia się rozlewiska 1-oktanolu w tych warunkach, a także szybką akcją zbierania wyciekającej cieczy za pomocą rynien. Biorąc pod uwagę profil terenowy skarpy, wyciek substancji zajmowałby powierzchnię nie większą niż 30 m². Dla amoniaku dodatkowo zostanie wykonana analiza dla uszkodzenia górnego zaworu wyładowczego o średnicy 80 mm, charakterystycznego dla tego typu wagonów. Rozpatrzony zostanie najbardziej niekorzystny wariant cysterny leżącej bokiem. W warunkach przyczyn zaistniałego wypadku, przy innym układzie wagonów w składzie pociągu, tak duże i tego typu rozszczelnienie cysterny amoniaku byłoby bardzo mało prawdopodobne. Wynika to z faktu dużo większej odporności mechanicznej cystern ciśnieniowych. Jednakże uszkodzenia takiego nie da się wykluczyć. Z większym prawdopodobieństwem natomiast mogłoby dojść do uszkodzenia zaworów wyładowczych zwłaszcza w przypadku osunięcia się cysterny w dół nasypu. Znane są również przypadki BLEVE (bez fireball) cystern zawierających amoniak których przyczyną było uszkodzenie mechaniczne cysterny podczas wypadku (Lieven, Francja 21 sierpnia 1968; Crete, USA 18 luty 1969; Crumming, USA, 29 kwietnia 1969; Huston, USA, 11 maj 1976) [2].

Granice strefy toksycznej określono względem NDS oraz NDSCh. Aczkolwiek warto rozważyć czy w zupełności bezpieczną granicą ewakuacji podczas akcji ratowniczych mógłby stanowić ERPG-2 wykorzystywany do sporządzania raportów bezpieczeństwa [3].



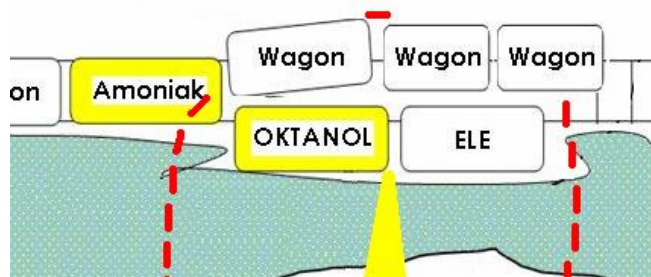
Ryc. 1. Szkic sytuacyjny działań ratowniczych podczas pierwszego dnia usuwania skutków wykolejenia się pociągu pod Szczygłowicami. Poszczególne symbole oznaczają: 1) beczki o pojemności $V = 50 \text{ dm}^3$ 2) zbiorniki chemooodporne o pojemności $V = 2500 \text{ dm}^3$ 3) zbiornik odbioru cieczy z rynien spustowych 4) SCRChem 5) SRT 6) GCBA 5/24 7) GBA 2/25
P – pompa perystaltyczna; OB. I – odcinek bojowy I; OB. II – odcinek bojowy II;
ELE - elektrowóz

Fig. 1. Sketch of rescue operations during the first day of removing the effects of a train derailment in Szczygłowice. The various symbols are: 1) barrels with a capacity of $V = 50 \text{ dm}^3$ 2) chemical resistant tanks with a capacity of $V = 2500 \text{ dm}^3$ 3) tank receiving liquid from the gutter 4) SCRChem 5) SRT 6) GPR 5/24 7) GBA 2/25
P - peristaltic pump, OB. I – first operational sector; OB. II – second operational sector;
ELE - locomotive

Zagrożenie wynikające z rozszczelnienia cysterny z 1-oktanołem

1-oktanol jest substancją działającą drażniąco na skórę i oczy. Nie stanowi jednak poważnego zagrożenia toksykologicznego i nie nadano mu numeru ONZ. Potwierdzają to wartości LD_{50} zarówno dla królika jak i szczura, które są wyższe od 5000 mg/kg masy ciała [4]. Temperatura wrzenia wahająca się w przedziale $188\text{-}198^\circ\text{C}$ powoduje, iż ciecz ta w warunkach zbliżonych do standardowych ma bardzo niewielką prężność par wynoszącą niewiele ponad $0,3 \text{ hPa}$ (20°C). Temperatura zapłonu wynosząca 82°C sugeruje, iż mamy do czynienia z cieczą palną znajdującą się w III klasie niebezpieczeństwa pożarowego a zatem stosunkowo mało podatną na zapłon mechaniczny. Jednak w przypadku zaistnienia dostatecznie silnego źródła zapłonu podczas wykolejenia można byłoby się spodziewać pożaru rozlewiska o powierzchni około 30m^2 . Do czasu przybycia sił ratowniczych (23 minuty) istniałoby w takiej sytuacji ryzyko osłabienia konstrukcji stalowej cysterny

i eskalacji wycieku. Obliczenia wskazują, iż strumień ciepła powodujący osłabienie konstrukcji stalowej ($11,6 \text{ kW/m}^2$) oddziaływałby w odległości około 13 m., a więc powodowałby również zagrożenie uszkodzenia cysterny z amoniakiem we wstępnej fazie wycieku (rys 2).



Ryc 2. Zasięg symulowanego oddziaływania strumienia ciepłego (czerwona linia przerywana) o mocy $11,6 \text{ kW/m}^2$ w przypadku zaistnienia pożaru rozlewiska 1-oktanolu we wstępnej fazie zdarzenia

Fig. 2. The simulated range of heat flux 11.6 kW/m^2 (red dashed line) in the case of fire of leakage of 1-octanol in the initial phase

Po przybyciu na miejsce zdarzenia, zgodnie z zasadami bezpieczeństwa, położono warstwę piany na rozlewisko, zabezpieczając je przed przypadkowym zapłonem. Mimo posiadania grupy hydroksylowej w strukturze długi łańcuch węglowodorowy powoduje stosunkowo niewielką polarność jego cząsteczki, o czym świadczy niewielka rozpuszczalność w wodzie wynosząca zaledwie $0,3 \text{ g/dm}^3$. Tak więc nie powinno obserwować się bardzo widocznych skutków niszczenia pian niealkoholoodpornych.

Określając możliwy rozmiar rozlewiska z wykorzystaniem oprogramowania ALOHA 5.4.1.2, szacuje się, iż w sprzyjających warunkach penetracji mogłoby osiągnąć nawet 120 metrów średnicy (teren płaski, nieprzeziąkliwy). Ukształtowanie terenu oraz ustawienie rynien odprowadzających umożliwiło jednak bardzo znaczną redukcję terenu rozlewiska, przy czym do czasu przyjazdu jednostek ratowniczych rozlewisko miało przypuszczalnie powierzchnię nie większą niż 30 m^2 . Wykorzystując model gazu ciężkiego wartość TEEL-1 (NDSCH, NDS, NDSP nie są określone) wynosząca 50 mg/m^3 powinna zostać przekroczona w okolicach 38 metra od rozszczelnienia, jednakże ze względu na ograniczenie stosowanego modelu obliczeń wartość ta jest znacznie przybliżona. Biorąc pod uwagę fakt, iż prężność par

1-oktanolu jest bardzo niewielka można pokusić się również o zastosowanie modelu Gaussa, słusznego również dla gazów bardzo rozrzedzonych. W takiej sytuacji strefa wynosiłaby 83 metry. Pierwszą strefę zagrożenia wybuchem przy 4,5-krotnej różnicy gęstości par 1-oktanolu względem powietrza bezpiecznie byłoby ustalić już przy wartości 10% DGW, co sugeruje również program. Tak niski próg granicy strefy jest zasadny ze względu na fakt, iż standardowo wykonując pomiar ratownik przeprowadza go w pozycji stojącej. Przy takiej gęstości par względem powietrza stężenie przypowierzchniowe byłoby zdecydowanie wyższe, niż wskazywałby przyrząd pomiarowy. Wartość 900 ppm odpowiadająca 10% DGW byłaby przekroczona w odległości 60 metrów od rozszczelnienia w najbardziej niekorzystnym wariantcie (model Gaussa). Są to wartości stosunkowo niewielkie, a zatem ewakuacja znajdującego się w pobliżu osiedla mieszkaniowego nie była konieczna i w trakcie działań jej nie przeprowadzono.

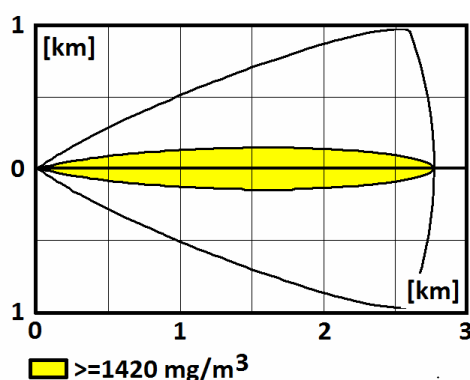
Zagrożenie związane z cysterną amoniaku

Tak, jak wcześniej wspomniano w trakcie zdarzenia nie doszło do rozszczelnienia cysterny z amoniakiem oraz jej mechanicznego uszkodzenia, a zatem nie stanowiła bezpośredniego zagrożenia w miejscu akcji w przypadku nie zaistnienia pożaru lub przypadkowego uszkodzenia np. w trakcie operacji pociągu ratunkowego. Wykonane zostaną jednak obliczenia hipotetyczne dla rozszczelnienia takiej wielkości, jakie miało miejsce w przypadku cysterny z 1-oktanołem (33 x 8 cm) oraz przy uszkodzeniu górnego zaworu wyladowczego o średnicy 80 mm. Tablica znamionowa wagonu wskazuje, iż w pełni załadowany wagon mógł przewozić 31700 kg ciekłego amoniaku w zbiorniku o pojemności 49480 dm³.

a. Rozszczelnienie wielkości 33 x 8 cm w cysternie z amoniakiem

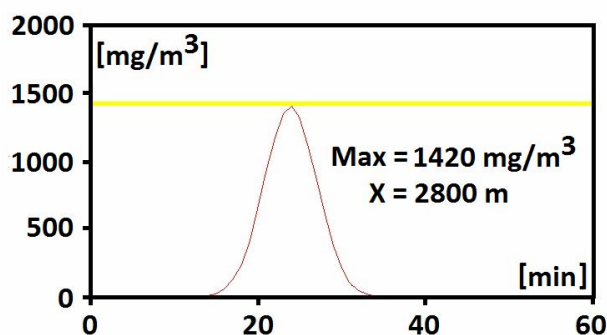
Strefę zagrożenia wyznaczono względem wartości NDSCH równej 28 mg/m³. Dodatkowo określono strefę względem LOAEL (70mg/m³), a więc najniższego stężenia, przy którym obserwuje się drażnienie górnych dróg oddechowych [5]. Stosując model Gaussa dla gazów lekkich, jakim jest amoniak, okazuje się, iż dla panujących warunków pogodowych w obydwu wypadkach strefa zagrożenia przekraczałaby wartość 10 km, a więc znajdowałaby się poza zakresem obliczeniowym modeli. Tak duża strefa oznaczałaby konieczność ewakuacji praktycznie całego miasta Knurów w przypadku uwolnienia ciągłego. Jednakże dla przypadku pojedynczej cyterny otwór o wielkości 33 x 8 cm spowodowałby, iż czas emisji

dwufazowej amoniaku wynosiłby zaledwie 2 minuty, a zatem nie byłoby możliwości podjęcia jakichkolwiek działań zapobiegawczych, zwłaszcza iż czas utrzymywania się chmury byłby stosunkowo krótki. W znacznie mniejszym stężeniu amoniak mógłby się jednak utrzymywać dłużej w pomieszczeniach zamkniętych. Zatem przeprowadzenie ewakuacji i wietrzenie pomieszczeń po przejściu chmury wydaje się koniecznością. Wypadków śmiertelnych można byłoby się spodziewać po przekroczeniu wartości LCL_0 , która wynosi 1420 mg/m^3 przy czasie ekspozycji wynoszącym 4 h. Strefa taka znajdowałaby się w odległości 2,8 km od miejsca emisji (rys. 3). W odległości 2,8 km stężenie wynoszące 1420 mg/m^3 utrzymywałoby się zaledwie minutę przy czasie utrzymywania się chmury wynoszącym 20 min., co sugeruje, iż nie istniałoby ryzyko zaistnienia wypadków śmiertelnych w tym miejscu (rys. 4).



Ryc. 3. Prognozowana strefa wg modelu Gaussa w której przekroczona zostałaby wartość $LCL_0 = 1420 \text{ mg/m}^3$. Uwolnienie z rozszczelnienia o wymiarach 33 x 8 cm.

Fig. 3 Forecasted zone (with Gaussian model) in which would be exceed the value $LCL_0 = 1420 \text{ mg/m}^3$. Leakage through the hole of dimensions 33 x 8 cm.



Ryc. 4. Prognozowana wartość stężenia amoniaku w funkcji czasu w odległości 2,8 km od rozszczelnienia cysterny. Wielkość rozszczelnienia 33 x 8 cm. Model obliczeniowy Gaussa

Fig. 4. Forecasted value of ammonia concentration as a time function (with Gaussian model) at a distance of 2,8 km from the point of leakage. Leakage through the hole of dimensions 33 x 8 cm.

Charakterystykę wyrażającą śmiertelność w funkcji przyjętej dawki amoniaku drogą inhalacji można przedstawić funkcją probitową w postaci $P_r = -35,9 + 1,85\ln(C^2t)$ przy czym wartość podlogarytmiczna wyraża nam ładunek toksyczny określony w ppm^2min [6]. Wartość tą możemy uzyskać całkując krzywą zależności stężenia od czasu. Aby zaistniało 50% ryzyko zajścia wypadku śmiertelnego w przypadku krótkiej 30 sekundowej ekspozycji stężenie amoniaku powinno wynosić 89378 ppm (67840 mg/m^3). Czas ten nie jest przypadkowy gdyż tyle czasu standardowo można dać potencjalnej ofierze na znalezienie ukrycia przez co można zrozumieć znalezienie się w pomieszczeniu zamkniętym. W pomieszczeniach tych stężenie gazu powinno być przeciętnie o jeden rząd wielkości mniejsze niż na zewnątrz. Przy krótkim czasie uwalniania się z cysterny (2 minuty) czas przejścia chmury będzie stosunkowo niewielki i dla odległości mniejszej od kilometra będzie mniejszy od 13 minut. Średni czas utrzymywania się maksymalnego stężenia (założmy $x > 90\% c_{\max}$) w danym punkcie odległym o X od rozszczelnienia będzie krótki i będzie rosł w miarę zwiększania się odległości. Dla odległości w promieniu 1 km od rozszczelnienia będzie wynosił około 30 s. Analizując tabelę 3. wynika, iż 50%-owe prawdopodobieństwo zajścia wypadku śmiertelnego znajdowałoby się w odległości około 550 metrów od rozszczelnienia. Biorąc pod uwagę fakt, iż większe osiedle mieszkaniowe znajduje się w odległości 1,5 km od miejsca zdarzenia półminutowy czas ekspozycji w terenie otwartym dawałby mniejsze niż 1% prawdopodobieństwo zajścia wypadku śmiertelnego (1%-owe prawdopodobieństwo zajścia wypadku śmiertelnego dla 30 sekundowej ekspozycji odpowiada wartości stężenia 47615 ppm). Amoniak ze względu na swoje właściwości palne stanowi również pewne zagrożenie wybuchowe. Aczkolwiek ze względu na bardzo wysoką wartość minimalnej energii zapłonu oraz DGW ryzyko takie jest stosunkowo niewielkie. Wartość DGW zostałaby krótkotrwale przekroczona na przestrzeni 654 m. od rozszczelnienia. Powstały wybuch mógłby spowodować zniszczenia infrastruktury szklanej w promieniu 686 metrów.

Tabela 3.

Maksymalne stężenie amoniaku po czasie t_{\max} występujące w odległości X od miejsca rozszczelnienia w terenie otwartym wg. Modelu Gaussa. Rozszczelnienie 33 x 8 cm.

Table 3.

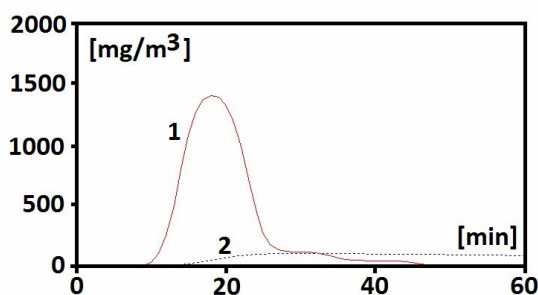
Maximal ammonia concentration after a time t_{\max} occurring at a distance X from the point of leakage (open country, Gaussian model). Leakage through a hole 33 x 8 cm.

x [m]	c_{\max}	c_{\max}	t_{\max}
[m]	[mg/m^3]	[ppm]	[s]
300	400000	575294	150

400	188000	270388	200
500	100000	143824	250
600	60000	86294	300
700	43600	62707	350
800	32400	46599	400
900	24800	35668	450
1000	18800	27039	500
1200	11800	16971	600
1500	6800	9780	750
2000	3200	4602	1000
2800	1420	2042	1400

b. Rozszczelnienie górnego zaworu wyladowczego o średnicy 8 cm.

W przypadku uszkodzenia górnych zaworów wyladowczych zasięg strefy toksycznej byłby niższy niż w poprzednio rozpatrywanym przypadku. Rozpatrując mniej korzystny scenariusz, dla wagonu wywróconego na bok przekroczone NDSCH byłoby również poza granicą 10 km. Wartość LOAEL przekroczone zostałyby w promieniu 8,1 km natomiast LCL₀ w odległości 1,65 km. Dla wartości LCL₀ = 1420 mg/m³ osiąganey na zewnątrz, wewnątrz budynków panowałyby stężenie około 120 mg/m³ osiąganey po czasie około 25 min (rys. 5). Wartość LD₅₀ dla półminutowego czasu ekspozycji zostałyby przekroczone na 196 metrze. Czas uwolnienia wynosiłby jednak już 32 minuty a czas ekspozycji całkowitej około 40 min. Wartość DGW natomiast zostałyby krótkotrwale przekroczone w obrębie 183 m. Zaistnienie wybuchu mogłoby spowodować przekroczenie wartości ciśnienia o 1 psi (6,895 kPa) na dystansie 166 metrów powodując zniszczenia infrastruktury szklanej.



Ryc. 5. Prognozowana wartość stężenia amoniaku w funkcji czasu w odległości 1,65 km od rozszczelnienia cysterny. Wielkość rozszczelnienia – uszkodzone górne zawory wyladowcze cysterny o $\Phi = 80\text{mm}$. Cysterna wywrócona na boku. Model obliczeniowy Gaussa

Fig. 5. Forecasted value of ammonia concentration as a time function (with Gaussian model) at a distance of 1,65 km from the point of leakage. Leakage through the upper discharge valve $\Phi = 80\text{mm}$.

Również i w tym przypadku trudno mówić o możliwości podjęcia skutecznych bezpośrednich działań zapobiegawczych ze względu na krótki czas ekspozycji oraz wielkość zagrożenia z którym dane byłoby zetknąć się ratownikom.

c. Ryzyko zaistnienia zjawiska BLEVE-fireball

Amoniak ze względu na swoje właściwości palne oraz niską temperaturę krytyczną może ulegać zjawisku BLEVE. Aczkolwiek mimo teoretycznie palnych właściwości amoniaku nie są znane przypadki „fireball”. Zjawisko BLEVE mogłoby mieć miejsce w przypadku zaistnienia pożaru rozlewiska 1-oktanolu jak i również mechanicznego uszkodzenia cysterny [2]. Znane są przypadki wybuchu BLEVE nawet po pewnym czasie od wypadku (Crumming, USA, 29 kwietnia 1969) [2,7]. W przypadku oddziaływania termicznego określonego w części dotyczącej hipotetycznego pożaru 1-oktanolu, powstający strumień ciepły mógłby doprowadzić do osłabienia konstrukcji cysterny lub też zbytniego wzrostu ciśnienia wewnątrz i w konsekwencji jej BLEVE. Zewnętrzne źródło zapłonu związane z pożarem 1-oktanolu mogłoby teoretycznie spowodować fireball aczkolwiek jak wcześniej wspomniano nie są znane takie przypadki [2,8]. Stąd też obliczenia wymiarów fireball oraz zasięgów strumieni ciepłych nie przeprowadzono.

Wnioski

Na skutek wypadku doszło do rozszczelnienia cysterny z 1-oktanołem o pojemności $V = 50 \text{ m}^3$. W wyniku podjętych działań udało się przepompować 25 m^3 substancji do podstawionej cysterny zastępczej. Monitorowanie przepływającego obok cieku wodnego odbywające się pomiędzy 24 a 27 maja 2002 nie wykazało zagrożenia toksykologicznego uwolnionym 1-oktanołem. Ze względu na skuteczne zbieranie i odprowadzanie rynnami wyciekającej substancji, likwidację zagrożenia pożarowego poprzez położenie zabezpieczającej warstwy piany, ściągnięcie dźwigu kolejowego, działania PSP na miejscu zdarzenia wydają się nie budzić żadnych kontrowersji. Pomimo udziału w wypadku cysterny z amoniakiem brak podjęcia ewakuacji był również zasadny ze względu na brak uszkodzenia tejże cysterny. Również samo zagrożenie związane z 1-oktanołem jak wykazały obliczenia nie stanowiło w żaden sposób niebezpieczeństwa dla znajdującego się w odległości ok. 1,5 km. osiedla mieszkaniowego.

Hipotetycznie przeprowadzone obliczenia dla katastrofy z udziałem cysterny z amoniakiem wykazały natomiast, iż ze względu na skalę uwolnienia (wariant 1 –

rozszerzenie wielkości 33x8 cm tak jak u cysterny z 1-oktanołem, wariant 2 – uszkodzenie górnych zaworów wyladowczych cysterny leżącej na boku) nie byłoby możliwe przeprowadzenie szybkich i sprawnych działań ewakuacyjnych. Bardzo krótki czas przejścia chmury toksycznej dawałby jedynie możliwość przeprowadzenia ewakuacji i dekontaminacji tuż po jej przejściu. Konieczne byłoby wietrzenie mieszkań ze względu na dużo dłuższy czas utrzymywania się w nich par gazu. Natomiast w samym czasie przejścia chmury w przypadku niemożności przeprowadzenia wcześniejszej skutecznej ewakuacji ze względu na dużo mniejsze stężenie substancji wewnątrz pomieszczeń wskazane byłoby by ludność pozostawała w domu.

Warto również podjąć dyskusję czy bezpieczną granicą ewakuacji podczas akcji ratowniczych powinno ustalać się intuicyjnie dla NDSCh i NDS. Wartość taką stanowiłby ERPG-2 wykorzystywany do sporządzania raportów bezpieczeństwa [3]. Wartość tą stanowi maksymalne stężenie substancji w powietrzu, poniżej którego prawie każda osoba może być ekspozycja przez czas do 1 godziny bez poważnego nieodwracalnego efektu zdrowotnego lub symptomów które mogą wpływać na zdolność do podjęcia działań ochronnych. Podejście takie pozwalałoby na bardziej racjonalny dobór sił i środków w przypadku poważnych katastrof przemysłowych.

Podziękowania

Autorzy pragnęliby serdecznie podziękować Panu asp. sztab. Józefowi Jaworkowi, Zastępcy dowódcy JRG Knurów, za wszelką okazaną pomoc przy ustalaniu szczegółów zdarzenia będącego przedmiotem niniejszej publikacji.

Literatura

1. M. Luszczak, K. Sierantowicz, J. Jaworek, J. Kozłowski, *Analiza zdarzenia „Wypadek kolejowy w miejscowości Szczygłowice”*, KM PSP w Gliwicach, Gliwice, czerwiec 2002 r.;
2. Abbasi T., Abbasi S. A., *The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management*, J. Hazardous Materials, 141 (2007) pp. 489-517;
3. Markowski A. S., *Zapobieganie stratom w przemyśle, Cz. III. Zarządzanie bezpieczeństwem procesowym*, Politechnika Łódzka, 2000;

4. *Karta charakterystyki substancji 1-oktanol*, Polskie Odczynniki Chemiczne, Gliwice czerwiec 2008 r.;
5. Tarkowski X. M., Tarkowski S., *Amoniak. Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego*, Podstawy i metody oceny środowiska pracy 2 (26) 2003;
6. Borysewicz M., Furtek A., Potemski S., *Poradnik metod ocen ryzyka związanego z niebezpiecznymi instalacjami procesowymi*, Instytut Energii Atomowej Otwock-Świerk 2000 r.;
7. <http://www.fireengineering.com/articles/print/volume-155/issue-4/features/bleve-facts-risk-factors-and-fallacies.html>;
8. Abbasi T., Abbasi S. A., *The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE) is fifty y and lives on!*, J. Loss Prevention, 21 (2008) pp. 485-487.

Dr Tomasz Węsierski jest absolwentem Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Pracę doktorską w zakresie chemii fizycznej obronił w 2007 r. Od września 2008 r. jest związany z Państwową Strażą Pożarną. Obecnie jest adiunktem w Zakładzie ratownictwa Chemicznego i Ekologicznego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Specjalność – ochrona przeciwpożarowa i usuwanie zagrożeń technicznych i chemicznych.

Recenzenci

dr inż. Bogdan Zaleski

dr inż. Adam Majka