

dr inż. Andrzej Polańczyk

dr Anna Dmochowska

mł. bryg. dr inż. Zdzisław Salamonowicz

st. bryg. dr inż. Wojciech Jarosz

Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Przewidywanie zasięgu strefy zagrożenia dla wycieku amoniaku z przemysłowej instalacji chłodniczej

Abstrakt

Magazynowanie substancji niebezpiecznych – ze względu ich na właściwości toksyczne, palne, wybuchowe, promieniotwórcze – jest dużym zagrożeniem dla środowiska naturalnego. Na wysoki stopień zagrożenia narażeni są również ludzie przebywający i pracujący w zakładach wykorzystujących takie substancje w procesach produkcyjnych, które obciążone są ryzykiem ewentualnych awarii lub znajdują się w pobliżu dużych składowisk substancji niebezpiecznych.

Celem artykułu było określenie – z wykorzystaniem programu ALOHA – zasięgu zagrożenia, jakie niesie ze sobą wyciek amoniaku, na przykładzie instalacji chłodniczej w zakładzie przemysłowym.

Przy pomocy oprogramowania ALOHA wykonano obliczenia dla dziewięciu scenariuszy uwolnienia amoniaku znajdującego się w zbiorniku, będącym elementem przemysłowej instalacji chłodniczej. Uzyskane wyniki umożliwiły określenie zasięgu oddziaływania uwolnionego amoniaku w kierunkach prostopadłym i równoległym do kierunku wiatru.

Otrzymane wyniki pokazują, że im niższa temperatura i prędkość wiatru, tym zasięg toksycznej chmury jest większy. Przy temperaturze 2,3°C i prędkości wiatru wynoszącej 7,7 km/h szkodliwe stężenie unosi się poza teren zakładu, obejmując pobliskie obszary miejskie. W wyniku tego zagrożeni są nie tylko pracownicy, ale także mieszkańcy miasta, a nawet pobliskich wsi. Wraz ze wzrostem temperatury powietrza i prędkości wiatru zasięg zagrożenia jest znacznie mniejszy. Przy wzroście temperatury do 6,3°C i prędkości wiatru do 36,7 km/h najbardziej szkodliwe stężenie utrzymuje się wyłącznie na terenie zakładu. Zasięg toksycznej chmury jest prawie 10-krotnie mniejszy niż w przypadku wycieku przy utrzymujących się niekorzystnych warunkach atmosferycznych.

Słowa kluczowe: prognozowanie zasięgu zagrożenia, ALOHA, wyciek amoniaku, instalacja chłodnicza

Prediction of the Range of the Danger Zone for the Ammonia Leakage from the Industrial Cooling Installation

Abstract

Storage of hazardous substances due to its toxic, flammable, explosive and radioactive properties is a major threat to the natural environment. In particular, people who are working in industrial cooling installations or in the vicinity of the large repositories of hazardous substances, are exposed to high risk of breakdown. Therefore, the aim of this work was to determine the extent of the threat posed by the ammonia leak on the example of a refrigeration plant in an industrial cooling installation using the ALOHA software.

The ALOHA software was applied to analyze 9 scenarios of ammonia release from the tank being a part of the industrial refrigeration system. The obtained results enabled to determine the impact range of the released ammonia in the direction perpendicular to the wind way as a function of the range of action in the direction parallel to the wind way.

The obtained results indicate that the lower the temperature and the wind speed, the greater the range of the toxic cloud. At a temperature of 2.3°C and 7.7 km/h of wind speed, the harmful concentration rises outside the plant, covering nearby urban areas. As a result, not only workers but also residents of the city and even nearby villages are at risk. With the increase of air temperature and wind speed, the range of danger is much smaller. With an increase in temperature to 6.3°C and wind speed up to 36.7 km/h, the most harmful concentration is maintained only on the site. The range of the toxic cloud is almost 10 times lower than in case of a leakage for constant weather conditions.

The ALOHA software made it possible to simulate the extent of the hazardous toxic zone in case of uncontrolled ammonia leakage from the tank at the industrial plant. The obtained results indicate that the least favorable atmospheric conditions are low air temperature and low wind speed. However, as the air temperature and wind speed increase, the range of danger is reduced.

Keywords: prediction of dangerous zones, ALOHA, ammonia leakage, refrigeration installation

Wstęp

Nieustanny rozwój nowoczesnych technologii w przemyśle warunkuje występowanie nowych zagrożeń środowiska, np. ze strony niebezpiecznych substancji chemicznych [1]. Potencjalnym źródłem zagrożenia może stać się miejsce magazynowania, transportowania czy przetwarzania substancji określanych jako niebezpieczne [2]. Uwolnienie

substancji niebezpiecznych w wyniku niekontrolowanego wycieku stanowi poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego [3].

Amoniak, ze względu na właściwości termodynamiczne, stał się najważniejszym czynnikiem chłodniczym stosowanym w przemyśle [4]. Przechowywanie amoniaku w dużych ilościach, najczęściej w postaci skroplonej, wiąże się z dużym ryzykiem awarii [5]. Zagrożenie toksyczne w tym przypadku występuje podczas rozszczelnienia zbiornika [6]. Dlatego przedmiotem artykułu są zagadnienia związane z bezpieczeństwem eksploatacji amoniakalnych urządzeń chłodniczych oraz zapobieganie awariom.

Współczesne techniki numeryczne dają ogromne możliwości w symulowaniu i przewidywaniu skutków awarii [7]. Podejście to umożliwia przygotowywanie map ryzyka oraz planów awaryjnych. Prognozowanie skali zagrożenia przy użyciu specjalistycznego oprogramowania stanowi cenne źródło informacji [8].

Celem artykułu było określenie, przy pomocy programu ALOHA, zasięgu zagrożenia, jakie niesie ze sobą wyciek amoniaku na przykładzie instalacji chłodniczej w zakładzie przemysłowym.

1. Metodyka badań

W badaniach analizowano różne scenariusze niekontrolowanego uwolnienia amoniaku z przemysłowej instalacji chłodniczej. W tym celu wykorzystano oprogramowanie ALOHA. Dziedzina obliczeniowa dotyczyła zakładu przemysłowego (200 m × 100 m). Badaną substancją był ciekły amoniak znajdujący się w zbiorniku, będącym częścią przemysłowej amoniakalnej instalacji chłodniczej. Ciśnieniowy zbiornik cylindryczny o pojemności 5900 dm³ został wypełniony ciekłym amoniakiem o masie 2380 kg. Założono nieszczelność (o wymiarach 5 cm × 2 cm) zbiornika, na następujących poziomach płaszcza zbiornika: 25% (faza ciekła), 50% (faza ciekła) i 75% (faza gazowa). W tabeli 1 opisano dziewięć rozpatrywanych scenariuszy uwolnienia amoniaku, dla których określono warunki początkowe.

Tabela 1. Scenariusze wycieku amoniaku ze zbiornika wypełnionego amoniakiem

S	H [%]	T [oC]	V [km/h]	D [-]	W [%]	Z (0-10)
1	25	6,3	36,7	SW	72	5
2	50					
3	75					

Tabela 1. Scenariusze wycieku amoniaku ze zbiornika wypełnionego amoniakiem

S	H [%]	T [oC]	V [km/h]	D [-]	W [%]	Z (0-10)
4	25	3,1	17,3	S	82	5
5	50					
6	75					
7	25	2,3	7,7	W	98	5
8	50					
9	75					

S – numer scenariusza,

H – miejsce wycieku (% maksymalnej wysokości płaszcza zbiornika),

T – temperatura [°C],

V – prędkość wiatru [km/h],

D – kierunek wiatru,

W – wilgotność powietrza [%],

Z – stopień zachmurzenia (0–10).

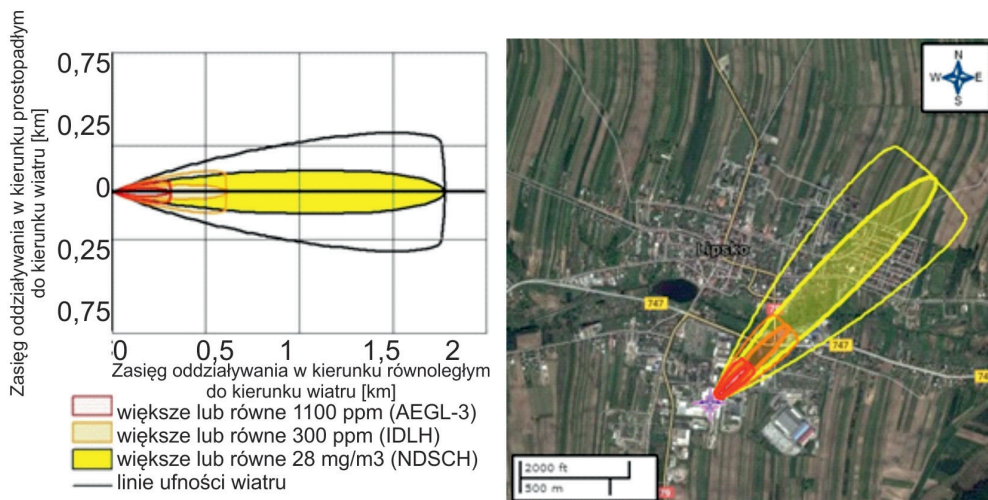
Uzyskane wyniki badań zostały zaprezentowane w formie wykresów przedstawiających zasięg oddziaływania w kierunku prostopadłym do kierunku wiatru w funkcji zasięgu oddziaływania w kierunku równoległym do kierunku wiatru. Zasięg stref zagrożenia został przeniesiony na mapy za pomocą oprogramowania MARPOL. Strefy zagrożenia są obszarami, w których występuje toksyczna chmura. W zależności od wielkości stężenia, strefy zagrożenia określone są trzema kolorami: czerwonym – ostre poziomy ekspozycji (AEGL-3), pomarańczowym – natychmiastowe niebezpieczne dla życia i zdrowia (IDLH) i żółtym – najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSCh).

2. Wyniki

W pierwszej części badania przedstawiono wyniki symulacji wycieku amoniaku ze zbiornika o niezmiennym kształcie przy różnych warunkach atmosferycznych z uwzględnieniem różnej lokalizacji wycieku.

Na rys.1 przedstawiono scenariusz 1. Analiza wycieku wskazuje, iż pary amoniaku rozchodzą się w kierunku północno-wschodnim. Zasięg toksycznych stężeń wynosi 1,8 km. Zasięg AEGL-3 – 312 m obejmuje zarówno teren zakładu, jak i obszar poza nim.

Natomiast zasięg dla IDLH wynosił 614 m. Największa szerokość chmury, wynosząca 300 m, występuje w strefie stężenia o NDSCh. Analiza wpływu amoniaku ze zbiornika w funkcji czasu dla scenariusza 1 wskazuje, iż początkowo natężenie wypływu wynosiło 850 kg/min. Określono, iż po 12 min wypływ amoniaku ustawał.

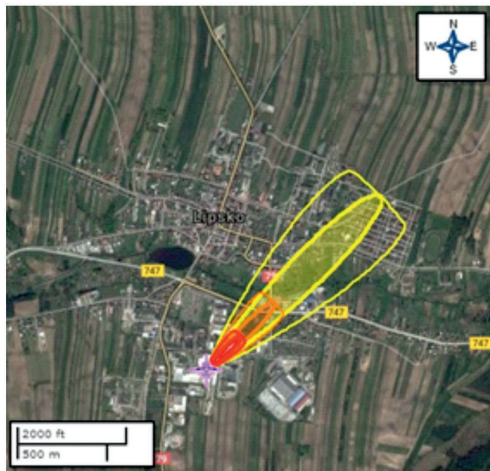
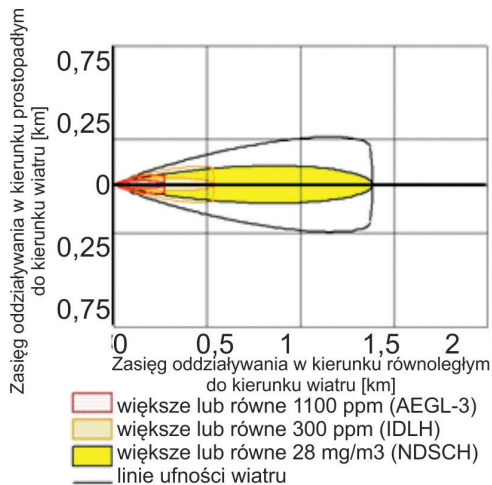


Rys. 1. Zasięg uwolnionego amoniaku – scenariusz 1

Źródło: opracowanie własne

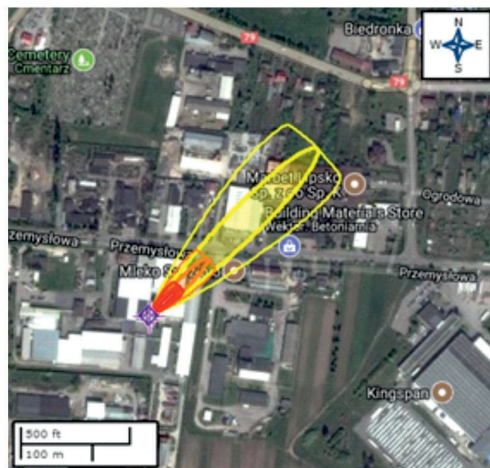
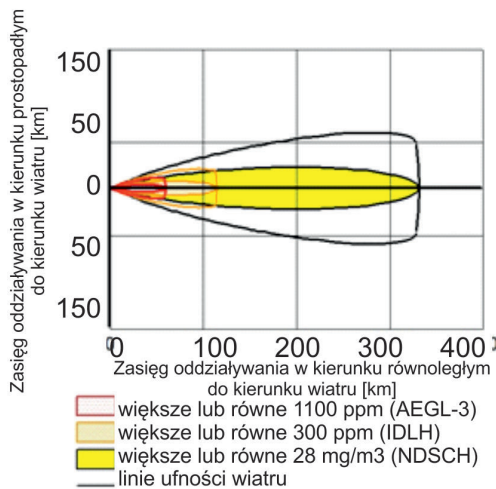
Na rys. 2 przedstawiono scenariusz 2. Kierunek rozchodzenia się par amoniaku to północny-wschód. Toksyczne stężenie rozprzestrzeni się do 1,4 km. Zasięg AEGL-3 wynosi 277 m, obejmując zarówno teren zakładu, jak i obszar poza nim. Zasięg stężenia IDLH wynosi 543 m. Analiza chmury amoniaku wskazuje, iż największa jej szerokość, wynosząca 250 m, występuje w strefie NDSCh. Również analiza wpływu amoniaku ze zbiornika w funkcji czasu wskazuje, iż początkowo natężenie wynosiło 700 kg/min, natomiast po upływie 16 min wypływ amoniaku ustawał.

Analiza scenariusza 3 wskazuje, iż pary amoniaku rozchodzą się w kierunku północno-wschodnim (rys. 3). Maksymalny zasięg dla NDSCh obejmuje teren pobliskich zabudowań od miejsca uwolnienia i wynosi 333 m. Zasięg AEGL-3 wynosi 60 m i znajduje się na terenie zakładu, a także występuje IDLH o zasięgu 116 m. Największa szerokość chmury występuje w strefie NDSCh i wynosi około 50 m. Analiza wpływu amoniaku w funkcji czasu wskazuje, iż początkowo natężenie wpływu wynosiło 35 kg/min. Również określono, iż po 25 min wypływ amoniaku ustawał.



Rys. 2. Zasięg uwolnionego amoniaku – scenariusz 2

Źródło: opracowanie własne

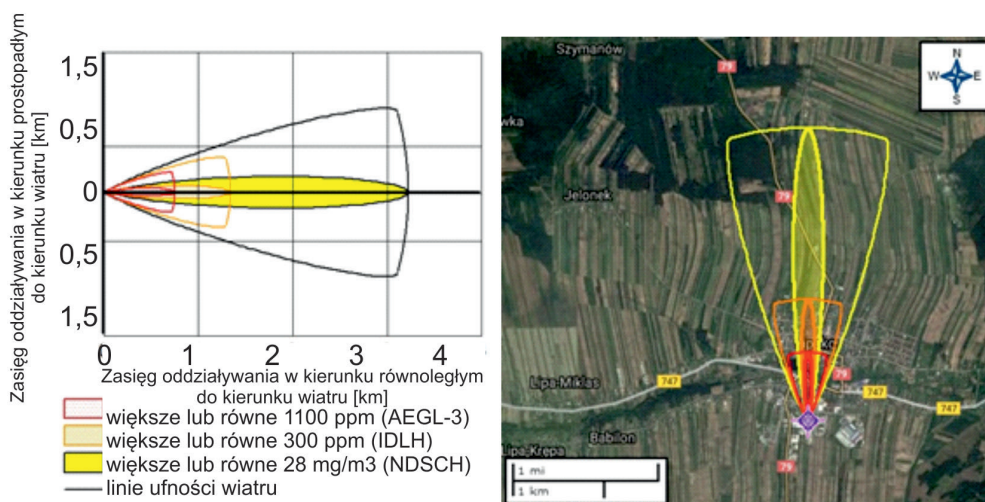


Rys. 3. Zasięg uwolnionego amoniaku – scenariusz 3

Źródło: opracowanie własne

Dla scenariusza 4 pary amoniaku rozchodzą się w kierunku północnym, a maksymalny zasięg toksycznych stężeń (NDSch) wynosi 3,2 km (rys. 4). Powoduje to, że

teren pobliskich zabudowań od miejsca uwolnienia jest nim objęty. Zasięg AEGL-3 wynosi 762 m, natomiast zasięg IDLH sięga 1300 m. Największa szerokość chmury wynosi około 400 m. Analiza wypływu amoniaku ze zbiornika w funkcji czasu dla scenariusza 4 wskazuje, iż początkowo natężenie wypływu wynosiło 50 kg/min. Również określono, iż po 8 min wypływ amoniaku ustawał.

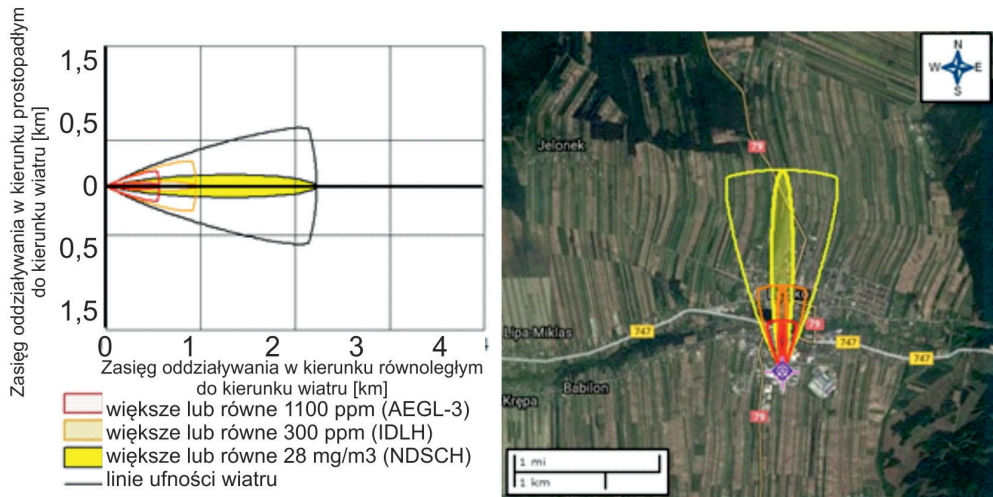


Rys. 4. Zasięg uwolnionego amoniaku – scenariusz 4

Źródło: opracowanie własne

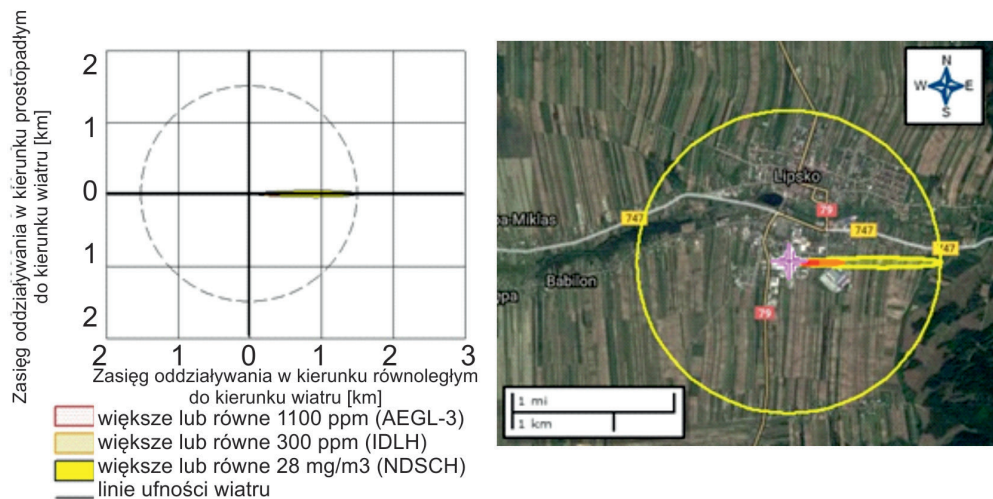
Na rys. 5 przedstawiono scenariusz 5. Pary amoniaku rozchodzą się w kierunku północnym. Maksymalny zasięg toksycznych stężeń (NDSCh) wynosi 2,2 km, obejmując teren pobliskich zabudowań od miejsca uwolnienia. Zasięg AEGL-3 wynosi 569 m, natomiast dla IDLH wynosi 957 m. Największa szerokość chmury wynosi około 200 m. Analiza wypływu amoniaku ze zbiornika w funkcji czasu dla scenariusza 5 wskazuje, iż początkowo natężenie wypływu wynosiło 650 kg/min. Określono, iż po 15 min wypływ amoniaku ustawał.

Pary amoniaku w przypadku scenariusza 6 rozchodzą się w kierunku północnym (rys. 6). Maksymalny zasięg toksycznych stężeń (NDSCh) wynosi 845 m, obejmując teren pobliskich zabudowań. Zasięg AEGL-3 wynosi 138 m, natomiast dla IDLH wynosi 277 m. Największa szerokość chmury wynosi około 50 m. Początkowo natężenie wypływu amoniaku ze zbiornika wynosiło 30 kg/min. Określono, iż po 21 min wypływ amoniaku ustawał.



Rys. 5. Zasięg uwolnionego amoniaku – scenariusz 5

Źródło: opracowanie własne

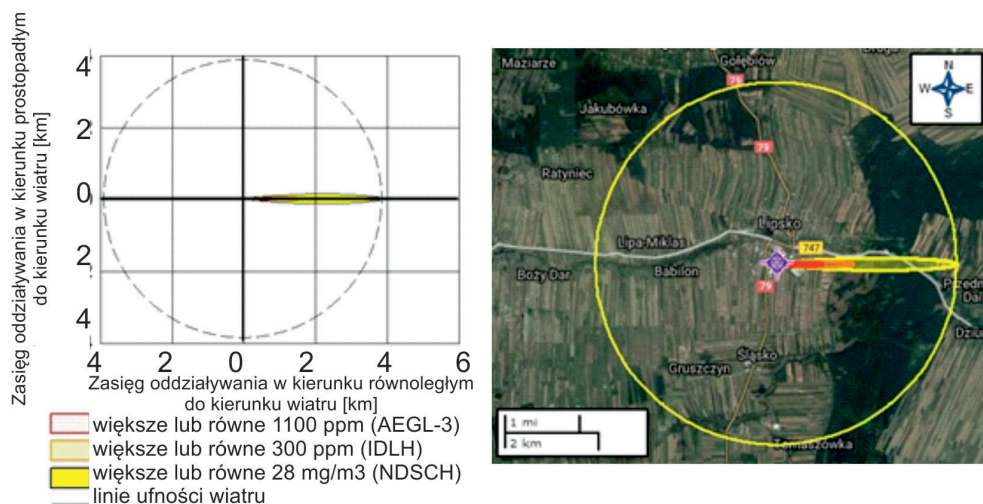


Rys. 6. Zasięg uwolnionego amoniaku – scenariusz 6

Źródło: opracowanie własne

W przypadku scenariusza 7 pary amoniaku rozchodzą się w kierunku wschodnim, a maksymalny zasięg NDSCh wynosi 3,9 km, obejmując teren pobliskich zabudowań.

Zasięg AEGL-3 wynosi 991 m, natomiast IDLH wynosi 1700 m. Największa szerokość chmury wynosi około 150 m. Analiza wpływu amoniaku ze zbiornika wskazuje, iż początkowo natężenie wypływu wynosiło 50 kg/min. Natomiast po 8 min wypływ amoniaku ustawał.

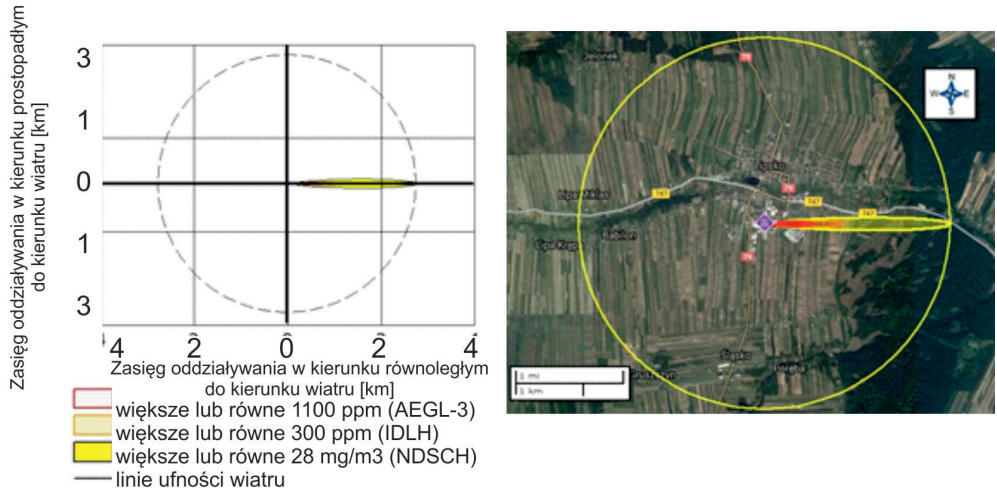


Rys. 7. Zasięg uwolnionego amoniaku – scenariusz 7

Źródło: opracowanie własne

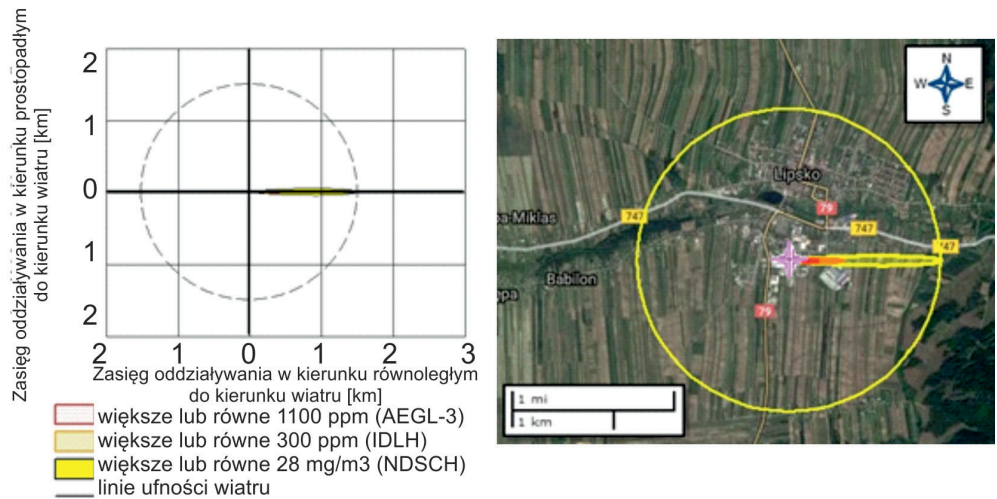
Na rys. 8 przedstawiono scenariusz 8. Pary amoniaku rozchodzą się w kierunku wschodnim. Maksymalny zasięg toksycznych stężeń (NDSCh) wynosi 2,8 km, obejmując teren pobliskich zabudowań od miejsca uwolnienia. Zasięg AEGL-3 wynosi 702 m, natomiast dla IDLH wynosi 1200 m. Największa szerokość chmury wynosi około 250 m. Analiza wpływu amoniaku ze zbiornika w funkcji czasu dla scenariusza 8 wskazuje, iż początkowo natężenie wypływu wynosiło 650 kg/min. Określono, iż po 17 min wypływ amoniaku ustawał.

Dla scenariusza 9 pary amoniaku rozchodzą się w kierunku wschodnim (rys. 9). Maksymalny zasięg toksycznych stężeń (NDSCh) wynosi 1,5 km i obejmuje teren pobliskich zabudowań. Zasięg AEGL-3 wynosi 277 m, natomiast dla IDLH wynosi 528 m. Największa szerokość chmury wynosi około 100 m. Początkowe natężenie wypływu amoniaku ze zbiornika wynosiło 30 kg/min. Również określono, iż po 23 min wypływ amoniaku ustawał.



Rys. 8. Zasięg uwolnionego amoniaku – scenariusz 8

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9. Zasięg uwolnionego amoniaku – scenariusz 9

Źródło: opracowanie własne

Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynika, iż skala i obszar zagrożenia związanego z rozprzestrzenianiem się amoniaku zależy od ilości substancji, która została uwolniona do środowiska, a także od warunków atmosferycznych panujących podczas awarii.

Uzyskane wyniki wskazują, iż najmniej korzystne warunki atmosferyczne to niska temperatura powietrza oraz niewielka prędkość wiatru. Wraz ze spadkiem wartości temperatury i prędkości wiatru zasięg toksycznej chmury zwiększa się. Przy temperaturze 2,3°C i prędkości wiatru wynoszącej 7,7 km/h szkodliwe stężenie amoniaku unosi się poza teren zakładu, obejmując pobliskie obszary miejskie. Natomiast wraz ze wzrostem wartości temperatury powietrza i prędkości wiatru zasięg zagrożenia zmniejsza się. Przy wzroście temperatury do 6,3°C i prędkości wiatru do 36,7 km/h NDSch utrzymuje się wyłącznie na terenie analizowanego zakładu. Zasięg toksycznej chmury jest prawie 10-krotnie mniejszy niż w przypadku wycieku przy utrzymujących się niekorzystnych warunkach atmosferycznych.

Literatura

- [1] Kizyn M., *Warunki bezpiecznego przechowywania substancji niebezpiecznych zgodnie z wytycznymi unijnymi „REACH” i „CLP”*, „Logistyka” 2010 nr 6, s. 46–48.
- [2] Żabicki D., *Magazynowanie materiałów niebezpiecznych*, „Inżynieria & Utrzymywanie Ruchu” 2013, nr 5.
- [3] Mikołajek D., *Charakterystyka specyficznych zagrożeń z udziałem gazów trujących, żrących (amoniak, chlor, dwutlenek siarki). Sposoby (systemy) przeciwdziałania zagrożeniom wewnątrz przedsiębiorstwa*, Centrum Kształcenia i Doskonalenia Kadr, Tarnów 2007.
- [4] Lindborg A., *Probability in Ammonia Refrigeration Risk Assessment*, 31st Annual Meeting International Institute of Ammonia Refrigeration, Dallas, Texas 2009.
- [5] Kalinowski K., *Amoniakalne urządzenia chłodnicze*. Tom 2, MASTA 2005, s. 94–129.
- [6] ASHRAE Handbook, *Thermophysical Properties of Refrigerant*, Stany Zjednoczone 2001.
- [7] Kozubková M., Bojko M., Zavila O., Danihelka P., Maléřová L., *Mathematical simulation of ammonia gas release in a complex urban terrain using CFD and a statistical approach*, Safety and Security Engineering V, WIT Press 2013.
- [8] Shao H., Duan G., Guoning, *Risk quantitative calculation and ALOHA simulation on the leakage accident of natural gas power plant*, International Symposium on Safety Science and Technology 2012.