

prof. dr hab. inż. JERZY S. MICHALIK

dr AGNIESZKA GAJEK

Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

płk dr LESZEK SŁOMKA

Akademia Obrony Narodowej,
Centrum Szkolenia Obrony przed Bronią Masowego Rażenia

Poważne awarie w transporcie drogowym niebezpiecznych chemikaliów (1)

– prognozy skutków

W artykule przedstawiono przykładowe wyniki prognoz możliwych skutków awarii w transporcie drogowym niebezpiecznych chemikaliów wykonanych przy zastosowaniu symulacji komputerowej. Prognozy dotyczyły wypadków drogowych z udziałem cystern przewożących paliwa płynne (benzyna) oraz skroplony LPG (propan-butan). Wyznaczono strefy skutków dla życia i zdrowia ludzi wskutek toksycznych skażeń powstałych w wyniku wycieku etyliny z cysterny w terenie otwartym, na terenach o luźnej oraz zwartej zabudowie, w warunkach zimowych i letnich. Dla przypadku awarii transportowej z udziałem cysterny przewożącej gaz płynny (LPG) wyznaczono strefy skażeń toksycznych powstałe w wyniku wycieku LPG z cysterny oraz wycieku z cysterny i pożaru LPG, a także strefy zagrożeń powstałe po wybuchu LPG uwolnionego z cysterny.

Major accidents in road transport of dangerous materials (1) – predicting consequences

This paper presents sample results of computer simulations predicting potential consequences for people of accidents in road transport of dangerous materials. Hazardous toxic contamination areas resulting from a gasoline leak from a cistern have been predicted for uninhabited areas and areas of low- and high-density housing in winter and summer. The article discusses hazardous contamination areas resulting from an LPG leak from a cistern, from an LPG leak and fire, and from an explosion of LPG following a leak for the case of a road accident involving a cistern transporting LPG.



Fot. Mikael Damker / BigStockPhoto

Wstęp

W dwóch artykułach, opublikowanych w „Bezpieczeństwie Pracy” nr 9 i 10/2009 r., przedstawiono najważniejsze wyniki prac badawczych, przeprowadzonych w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym, dotyczących oceny zagrożeń poważnymi awariami w transporcie drogowym niebezpiecznych chemikaliów w Polsce [1] oraz analiz danych Transportowego Dozoru Technicznego, Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska i Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej, mających na celu ustalenie przyczyn zdarzeń awaryjnych [2].

W niniejszym artykule opisano z kolei sposoby prognozowania skutków wspomnianych awarii, w aspekcie wykorzystywania symulacji komputerowych, dzięki którym możliwe jest ocenienie potencjalnych skutków poważnych awarii w transporcie drogowym niebezpiecznych chemikaliów [3].

Prognozy możliwych skutków awarii w transporcie drogowym niektórych niebezpiecznych chemikaliów

Uwzględniając dane dotyczące struktury przewozów towarów niebezpiecznych w transporcie drogowym [1], za pomocą aplikacji komputerowej H-PAC (*Hazard Prediction and Assessment Capability*), dokonano symulowanej oceny skutków kolizji i katastrof drogowych

z udziałem pojazdów przewożących niebezpieczne materiały chemiczne. Wykorzystany program pozwala prognozować zasięg uwolnienia się substancji niebezpiecznych do atmosfery oraz ich oddziaływanie na ludność cywilną lub wojsko znajdujące się w rejonie zagrożenia. Istnieje również możliwość modelowania sytuacji skażeń, związanych m.in. z uwolnieniem substancji niebezpiecznych z instalacji przemysłowych oraz urządzeń transportowych.

W symulacji oceniano zagrożenia, które mogą powstać wskutek wypadków drogowych z udziałem cystern przewożących paliwa płynne (etylina), skroplony LPG (propan-butan) oraz – ze względu na toksyczność, lotność, a także relatywnie duże przewożone ilości – chlor i amoniak, zaliczane do kategorii substancji toksycznych i żrących. Uwzględniono również ukształtowanie i pokrycie terenu, a całą symulację wykonano dla trzech wariantów zagospodarowania przestrzennego, a mianowicie:

- terenu otwartego – niezabudowanego
- terenu o luźnej zabudowie (wiejskiego)
- terenu o zwartej zabudowie (miejskiego)
- oraz dla dwóch wariantów pogodowych:
 - w warunkach zimowych:
 - prędkość wiatru: 10 km/h
 - kierunek wiatru: 330 stopni (północno-zachodni)
 - pokrywa śnieżna, brak opadów atmosferycznych

- temperatura powietrza: -10 °C.
- w warunkach letnich:
 - prędkość wiatru: 10 km/h,
 - kierunek wiatru: 300 stopni (północno-zachodni)
 - brak opadów atmosferycznych,
 - temperatura powietrza: 20 °C.

We wszystkich analizowanych zdarzeniach przyjęto następujący scenariusz: w skutek kolizji drogowej następuje rozszczelnienie cysterny przewożącej 20 ton substancji niebezpiecznej i uwolnienie do otoczenia ok. 50% ładunku. Określone zostały również strefy charakteryzujące się występowaniem ofiar śmiertelnych, strefy ciężkich obrażeń (ciężkie zatrucia) oraz strefy stężeń progowych (lekkie przypadki zatrucia ludzi). Dla zilustrowania uzyskanych wyników, w dalszej części tekstu przedstawiono kilka spośród 28 wykonanych prognoz.

Cysterna z benzyną

Wygenerowane dane przedstawiają rozkład stężeń par benzyny w powietrzu, w poszczególnych strefach skażeń:

- strefa żółta (TEEL-3¹ – 15 min) – śmiertelne stężenie par paliwa na poziomie $1,3062 \cdot 10^4 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{m}^3$
- strefa fioletowa (TEEL-2 – 15 min) – stężenie par paliwa na poziomie $784 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{m}^3$, powodujące ciężkie obrażenia
- strefa seledynowa (TEEL-1 – 15 min) – stężenie progowe par paliwa na poziomie $131 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{m}^3$.

Negatywne dla ludzi skutki zdrowotne zdarzenia zobrazowanego na rys. 1. są znikome (zob. ramka na rys. 1.). Jedyne kilkanaście osób znajdujących się w strefach skażenia może ulec zatruciu parami paliwa. Strefy skażeń w warunkach letnich są nawet o połowę mniejsze od stref powstających w warunkach zimowych, co znajduje odzwierciedlenie w przewidywanej liczbie poszkodowanych: uwzględniając przyjęte założenia można stwierdzić, że jedynie kilka osób może ulec zatruciu.

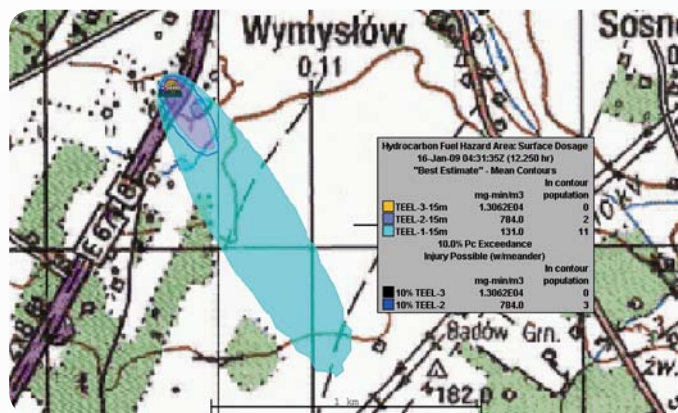
Rozmiar strefy skażenia powstałego w wyniku wycieku etyliny z cysterny w terenie miejskim w zimie jest stosunkowo duży (rys. 2.), a skutki mogą być bardzo poważne, m.in. ze względu na gęstość zaludnienia. W tych warunkach pojawia się również zagrożenie wtórne – niezamierzone wywołanie wybuchu mieszaniny par substancji łatwo palnej i powietrza. Długość strefy skażenia może dochodzić nawet do 2 km, a szerokość do 300-400 m. Szacunkowe liczby porażonych w kolejnych trzech strefach, w warunkach zimowych, mogą wynosić odpowiednio:

- strefa żółta (TEEL-3 – 15 min) – stężenie śmiertelne par paliwa dla 5 osób
- strefa fioletowa (TEEL-2 – 15 min) – stężenie niebezpieczne, powodujące poważne obrażenia u 52 osób
- strefa seledynowa (TEEL-1 – 15 min) – stężenie progowe dla 691 osób.

Z kolei w warunkach letnich (rys. 3.) szacunkowe liczby osób mogą wynosić: w strefie żółtej – stężenie śmiertelne dla 5 osób, w strefie fioletowej – stężenie niebezpieczne, powodujące poważne obrażenia u 41 osób, a w strefie seledynowej – stężenie progowe dla 458 osób.

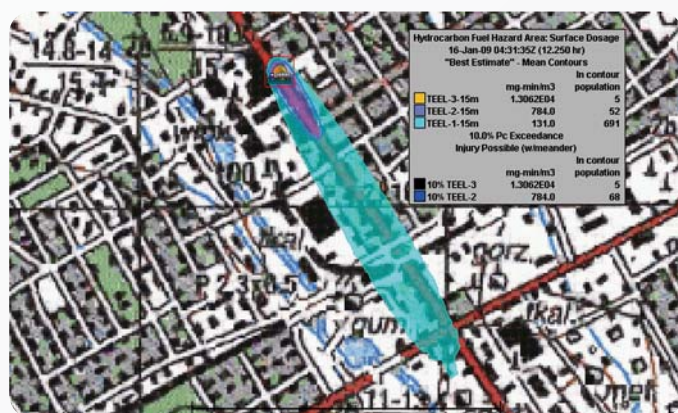
Z przeprowadzonego porównania wynika, że w przypadku uwolnienia etyliny, diametralnie odmienne warunki atmosferyczne nie mają większego wpływu na liczbę potencjalnych ofiar zdarzenia umiejscowionego w rejonie zurbanizowanym.

¹ Parametry TEEL (Temporary Emergency Exposure Limit) określają wpływ substancji niebezpiecznej na organizm ludzki na trzech poziomach stężeń – TEEL 1, 2 i 3. Wielkości te zostały określone przez Amerykańskie Stowarzyszenie Higieny Przemysłowej (American Industrial Hygiene Association – AIHA) i są wykorzystywane m.in. w procesie planowania działań podejmowanych w początkowym okresie uwolnienia niebezpiecznych substancji przemysłowych (głównie gazowych i ciekłych). TEEL-1 – charakteryzuje stężenie substancji niebezpiecznej, występujące w powietrzu, które może wywoływać działania drażniące lub inne pomijane efekty zdrowotne. TEEL-2 określa stężenie wywołujące działania drażniące i inne skutki odwracalne, natomiast TEEL-3 to maksymalne stężenie substancji szkodliwych powodujące poważne zagrożenia dla zdrowia i życia, a nawet śmierć. Czas ekspozycji – do 15 min.



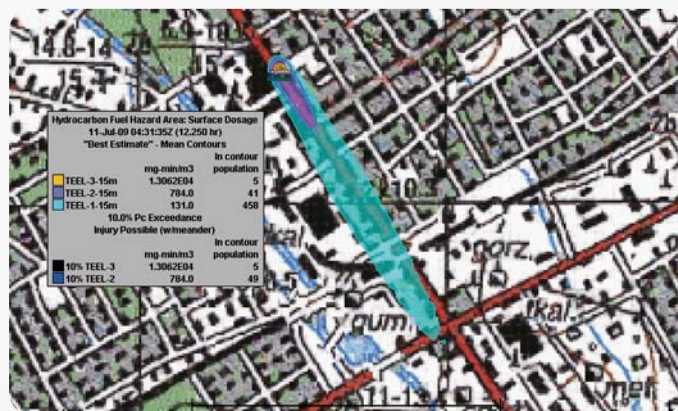
Rys. 1. Strefy skażeń powstałe w wyniku wycieku etyliny z cysterny w terenie otwartym – warunki zimowe. Prognoza wykonana przy użyciu programu komputerowego H-PAC

Fig. 1. Hazardous contamination areas after a gasoline leak from a cistern; uninhabited area; winter; predicted with H-PAC computer program



Rys. 2. Strefy skażeń powstałe w wyniku wycieku etyliny z cysterny w terenie o zwartej zabudowie – warunki zimowe. Prognoza wykonana przy użyciu programu komputerowego H-PAC

Fig. 2. Hazardous contamination areas after a gasoline leak from a cistern; high-density housing; winter; predicted with H-PAC computer program



Rys. 3. Strefy skażeń powstałe w wyniku wycieku etyliny z cysterny w terenie o zwartej zabudowie – warunki letnie. Prognoza wykonana przy użyciu programu komputerowego H-PAC

Fig. 3. Hazardous contamination after a gasoline leak from a cistern; high-density housing; summer; predicted with H-PAC computer program

Rozszczelnienie cysterny i uwolnienie benzyny do otoczenia, w określonych warunkach, przede wszystkim przy wysokiej temperaturze powietrza (np. ok. 40 °C), co powoduje intensywne parowanie benzyny i tworzenie się dużych ilości mieszaniny wybuchowej, niesie ze sobą bardzo ciężkie następstwa. Przykładem takich zdarzeń są, opisane poniżej (w ramach) wybuchy par benzyny w Afryce.

Demokratyczna Republika Konga (Kinsza), 2 lipca 2010 r.

W miejscowości Sange (ok. 50 tys. mieszkańców), znajdującej się niedaleko granicy z Burundi, przewróciła się na pobocze cysterna samochodowa, jadąca z Tanzanii, przewożąca ok. 50 tys. litrów benzyny. W wyniku rozszczelnienia nastąpił intensywny wyciek benzyny. W pobliżu, w prowizorycznym kinie, ludzie oglądali transmisje meczów piłkarskich mistrzostw świata. Wiele osób, zamiast uciekać, zebrało się w przy przewróconej cysternie, aby zebrać i odzyskać wyciekające paliwo. Kilka minut później nastąpił zapłon oraz wybuch i ogień zaczął się błyskawicznie rozprzestrzeniać. Jak stwierdziły władze, ze zgromadzonych gapiów nikt nie przeżył. Niektórzy spłonęli żywcem na miejscu, innych dosięgły płomienie podczas próby ucieczki, a ogień zniszczył kilkanaście domów. Wielu mieszkańców w tej okolicy żyje w domach z liści spojonych gliną. Liczba ofiar śmiertelnych wyniosła ponad 230 osób, liczba rannych – 214. Według niektórych źródeł zginęło ok. 60 dzieci.

Nie jest do końca jasne, co spowodowało tragiczny wypadek. Jak mówili świadkowie zdarzenia, jadąca w konwoju cysterna zachwiała się na nierównej drodze i przewróciła. Większość dróg w Afryce centralnej jest w fatalnym stanie po ciągłych wojnach.

Podobne zdarzenia w Afryce. Warto zwrócić uwagę na fakt

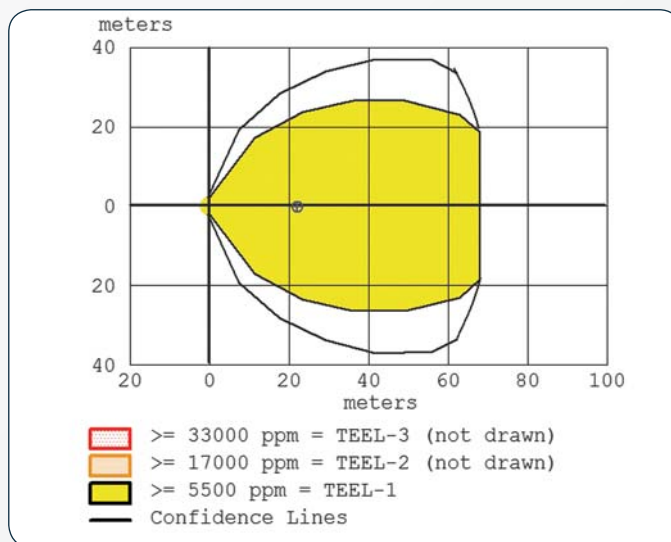
częstego występowania w Afryce podobnych zdarzeń w transporcie drogowym paliw węglowodorowych, co być może wiąże się zarówno z bardzo złym stanem dróg, ale prawdopodobnie także z gorszą, niż wymagają tego w Europie przepisy ADR, jakością cystern (w państwach europejskich, w licznych przypadkach przewrócenia się cysterny, zazwyczaj nie następuje jej rozszczelnienie oraz znaczące wycieki paliwa). Określony wpływ na liczbę oraz przebieg tych zdarzeń w Afryce może mieć także wysoka temperatura oraz nieadekwatne do potrzeb transportu drogowego towarów niebezpiecznych kwalifikacje kierowców, a także zachowanie się ludzi (próby zebrania wyciekającego paliwa). Oto kilka przykładów katastrof tego typu w Afryce w ostatnich latach:

- marzec 2007 r., stan Kaduna w Nigerii: w wyniku wybuchu cysterny ponad 100 ofiar śmiertelnych spośród ludzi próbujących zebrać paliwo wyciekające z pękniętej cysterny
- styczeń 2008 r., okolice Port Harcourt, Nigeria: kilkadziesiąt ofiar śmiertelnych w wyniku wybuchu cysterny z paliwem
- sierpień 2008 r., północny Kamerun: kilkadziesiąt ofiar śmiertelnych w wyniku podobnego zdarzenia
- listopad 2008 r., Ghana: cysterna po przewróceniu się eksplodowała, liczba zabitych – co najmniej 22 osoby próbujące pozyskać wyciekające paliwo
- październik 2009 r., stan Anambra w Nigerii: co najmniej 70 osób spłonęło żywcem wskutek wybuchu cysterny i spowodowanego tym zdarzeniem pożaru mikrobusów.

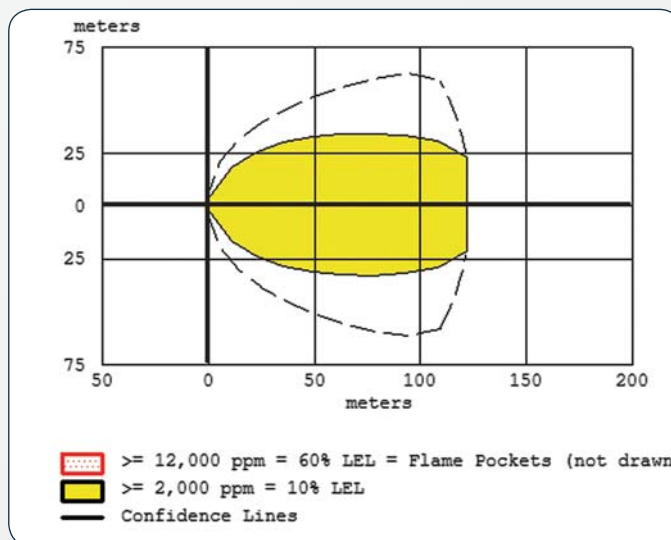
Nie należy wykluczać możliwości wystąpienia wybuchów par benzyny w Polsce, szczególnie w czasie upałów.

Cysterna z gazem płynnym (skroplony LPG)

W przypadku prognozowania skutków awarii w transporcie drogowym LPG zastosowano program komputerowy ALOHA. Jego możliwości są bardziej ograniczone niż H-PAC (przedstawione zobrazowanie stref zagrożenia jest schematyczne – rys. 4.), jednakże wykorzystanie tej drugiej aplikacji w tym przypadku okazało się niemożliwe ze względu na brak niezbędnych danych odnoszących się do LPG i trudności związane z ich wprowadzeniem. Uwzględniając zatem możliwości programu ALOHA, właściwości fizyko-chemiczne LPG oraz potencjalne możliwości



Rys. 4. Strefy skażeń powstałe w wyniku wycieku LPG z cysterny – warunki zimowe
Fig. 4. Hazardous contamination areas after an LPG leak from a cistern; winter; predicted with ALOHA computer program



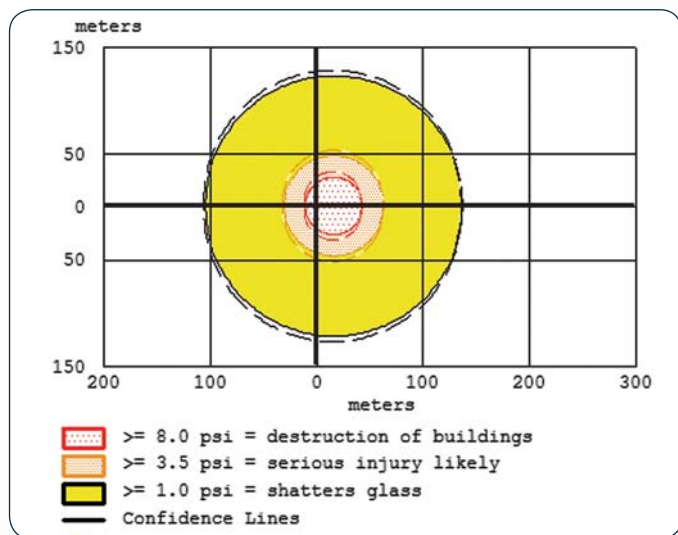
Rys. 5. Strefy zagrożeń pożarowych powstałe w wyniku wycieku z cysterny LPG. Prognoza wykonana przy użyciu programu komputerowego ALOHA
Fig. 5. Fire hazard areas as result of LPG outflow from cistern. Prediction made using ALOHA computer programme

uwolnienia gazu, przeanalizowano trzy scenariusze zdarzeń: wyciek LPG z cysterny, która uległa uszkodzeniu podczas kolizji drogowej, pożar wyciekającego gazu z cysterny oraz jej wybuch.

Do analizy przyjęto następujące dane wyjściowe:

- a) pojemność cysterny – 20,6 t
- b) stopień wypełnienia – 76%
- c) czas wypływu gazu – 1 h
- d) ilość uwolnionego gazu – 14,23 t.

W wyniku tego zdarzenia powstała strefa stężenia progowego gazu (TEEL-1) i określona została granica zagrożenia (rys. 4.). Wymiary strefy, w której będzie się utrzymywać stężenie progowe są następujące: długość – ok. 60 m, szerokość – ok. 50 m, zarówno w warunkach zimowych, jak i letnich. Porównanie prognoz warunków zimowych i letnich wykazało, że rozmiary strefy stężenia progowego gazu będą w przypadku warunków zimowych większe jedynie o kilka metrów. Niebezpieczeństwo zatrucia się gazem w takiej sytuacji będzie zatem



Rys. 6. Strefy zagrożenia powstałe po wybuchu LPG uwolnionego z cysterny. Prognoza wykonana przy użyciu programu komputerowego ALOHA

Fig. 6. Hazardous areas after an explosion of LPG following a leak; predicted with ALOHA computer program

miało marginalne znaczenie w porównaniu ze skutkami potencjalnego wybuchu lub pożaru wydobywającego się gazu.

Analizie poddano przypadek rozszczelnienia się cysterny z gazem, w wyniku którego nastąpił jego wyciek, a w konsekwencji zapłon. Dane wyjściowe przyjęte (techniczne i atmosferyczne) dla tego zdarzenia były takie same, jak w uprzednio analizowanym incydencie. W tym przypadku przedstawiono jedną prognozę, która może być właściwa zarówno dla warunków zimowych, jak i letnich. W wyniku pożaru strefa stężeń progowych, głównie produktów spalania gazu propan-butan, może osiągnąć rozmiary: 123 m długości i ok. 60 m szerokości. Przewidywaną sytuację tego typu zdarzenia ilustruje prognoza na rys. 5.

Przyjęte do opisu zdarzenia wyrażenie – LEL (*lower explosive limit* – dolna granica wybuchowości) identyfikuje poziom wycieku gazu, który posiada trzy stopnie:

- LEL 1 – wyciek lub realne zagrożenie wyciekiem gazu, mające bezpośredni wpływ na niebezpieczeństwo ludzi i obiektów, wymagający podjęcia natychmiastowego działania ratowniczego lub zapobiegawczego
- LEL 2 – wyciek gazu wykryty w trakcie kontroli (detekcji), nie stanowiący w danej chwili zagrożenia, wymagający podjęcia działań naprawczych
- LEL 3 – wykryty wyciek gazu niewywołujący zagrożenia.

Eksplozja gazu wydobywającego się z cysterny jest zdarzeniem, które może wystąpić przy sprzyjających okolicznościach. W przeciwieństwie do uprzednio analizowanych zdarzeń związanych z wypadkami w trakcie transportu LPG, tutaj czynnikiem negatywnie oddziałującym na otoczenie będzie fala uderzeniowa (nadcisnienie), powstała podczas wybuchu gazu. Analizie poddano przypadek wybuchu cysterny o pojemności 20 ton, wypełnionej w 75%, a na miejsce detonacji wybrano teren miejski. Prognozę przedstawiono na rys. 6.

Zgodnie z nią, wybuch tego typu może zniszczyć zabudowania w promieniu ok. 50 m (czerwona strefa), spowodować poważne obrażenia ciała w promieniu do 70 m (pomarańczowa strefa). Natomiast lekkie obrażenia ciała oraz uszkodzenia budynków (tj. wybite szyb) mogą mieć miejsce w promieniu do 140 m (żółta strefa). Efekty i zasięg wybuchu są uzależnione od jego mocy. Przedstawiona prognoza obrazuje jedynie skutki pierwotne, wywołane wysokim ciśnieniem powietrza (fala uderzeniowa)². W planowaniu operacyjnym należy również uwzględnić skutki wtórne wybuchu, tj. uszkodzenia ciała odłamkami szklanymi itp.

² W programie stosowaną jednostką ciśnienia jest psi. Dla porównania, ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza wynosi 14,7 psi.

Podsumowanie

Zgodnie z przewidywaniami, w przypadku terenu otwartego, z uwagi na jego specyfikę, negatywne skutki awarii w transporcie drogowym niebezpiecznych chemikaliów są dla ludzi niewielkie. W odniesieniu do luźnej zabudowy (wiejskiej), ze względu na gęstość zaludnienia – skutki zdarzenia może odczuć więcej osób. W przypadku zwartej zabudowy, zarówno rozmiar strefy skażenia powstałego w wyniku tego typu zdarzenia jest stosunkowo groźny, jak i liczba poszkodowanych osób jest zdecydowanie większa. W warunkach zabudowy miejskiej pojawia się też zagrożenie wtórne – niebezpieczeństwo wywołania wybuchu mieszanki par substancji łatwo palnej i powietrza.

Jak wiadomo, oszacowanie skutków awarii z udziałem niebezpiecznych substancji chemicznych jest jednym z podstawowych elementów zarządzania bezpieczeństwem w kontekście przeciwdziałania poważnym awariom, także w transporcie tych substancji. Przedstawione przykłady wykorzystania symulacji komputerowej do prognozowania możliwych skutków zdarzeń awaryjnych w przewozie drogowym paliw węglowodorowych dotyczą częstych przypadków awarii drogowych z udziałem pojazdów-cystern, które mają miejsce w Polsce.

Warto w tym miejscu odnotować, że w zdecydowanej większości przypadków przewrócenia się lub kolizji drogowej pojazdu-cysterny z paliwem nie następuje poważne rozszczelnienie cysterny lub uszkodzenie jej wyposażenia, służącego do napełniania i rozładunku i zdarzające się wycieki paliwa są zazwyczaj niewielkie. Świadczy to z pewnością o prawidłowym wykonywaniu wymagań przepisów ADR oraz odpowiednich norm [4] dotyczących jakości materiałów konstrukcyjnych, wykonawstwa cystern oraz ich wyposażenia, a także o skutecznym systemie nadzoru i kontroli w tym zakresie. Sprawia to, że mimo znaczącej liczby awarii w transporcie drogowym paliw w Polsce, który, jak wskazano w publikacji [1], stanowi około 91% niebezpiecznych chemikaliów przewożonych w transporcie samochodowym (ok. 72% – benzyna i olej napędowy; ok. 19% – LPG; przypomnijmy, że w 2007 r. przewieziono w transporcie drogowym około 100 mln ton materiałów niebezpiecznych) poważne awarie o dużej ciężkości skutków dotychczas nie występowały.

W kolejnym artykule poświęconym problematyce możliwych skutków awarii w przewozie drogowym niebezpiecznych chemikaliów zostaną przedstawione wyniki prognoz, dotyczących uwolnienia z cystern wskutek awarii substancji toksycznych oraz żrących, a także oceny skutków takich zdarzeń.

PIŚMIENNICTWO

- [1] J. S. Michalik, A. Gajek, K. Grzegorzczak, S. Gredecki, M. Piękniewski, L. Słomka, P. Janik, D. Dziwulski, S. Zając: *Zagrożenia poważnymi awariami w transporcie drogowym niebezpiecznych chemikaliów w Polsce*, „Bezpieczeństwo Pracy” 9 (456) 2009, s. 6-9
- [2] J. S. Michalik, A. Gajek, K. Grzegorzczak, S. Gredecki, M. Piękniewski, L. Słomka, P. Janik, D. Dziwulski, S. Zając: *Przyczyny zagrożeń w transporcie drogowym niebezpiecznych chemikaliów w Polsce*, „Bezpieczeństwo Pracy” 10 (457) 2009, s. 14-17
- [3] J. S. Michalik, A. Gajek, L. Słomka: *Opracowanie programów zarządzania ryzykiem związanym z transportem drogowym niebezpiecznych chemikaliów. Ocena zagrożeń poważnymi awariami chemicznymi w Polsce, związanych z transportem drogowym materiałów niebezpiecznych i opracowanie zalecanych rozwiązań dotyczących programów zarządzania ryzykiem, związanym z transportem niebezpiecznych chemikaliów, wyboru tras przewozu dla różnych kategorii substancji i materiałów niebezpiecznych. Opracowanie zasad i zakresu informowania o przewozach*. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, listopad 2009 r.
- [4] J. S. Michalik, A. Gajek, K. Grzegorzczak, S. Gredecki, M. Piękniewski, L. Słomka, P. Janik, D. Dziwulski, S. Zając: *Opracowanie programów zarządzania ryzykiem związanym z transportem drogowym niebezpiecznych chemikaliów. Określenie kryteriów oceny zagrożeń oraz wymagań dotyczących transportu drogowego substancji i materiałów niebezpiecznych w Polsce w kontekście przeciwdziałania katastrofom chemicznym w transporcie tych materiałów, z uwzględnieniem rozwiązań zastosowanych w niektórych państwach*. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, listopad 2008 r.

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowanego w latach 2008-2010 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.