



prof. dr hab. inż. Janusz RAK

POLITECHNIKA RZESZOWSKA IM. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA
W RZESZOWIE

WSTĘP DO OCENY RYZYKA ZAGROŻENIA LUDZI I ŚRÓDOWISKA W WYNIKU KOLIZJI ŚRODKÓW TRANSPORTU

1. Wstęp

W Polsce w wypadkach drogowych ginie rocznie ponad 6 000 osób, a rannych zostaje około 40 000 osób. Do tego dochodzą ofiary związane z transportem kolejowym i lotniczym, których odsetek jest znacznie mniejszy. Drogi kolejowe i autostrady stają się obszarami podwyższonego poziomu ryzyka. Rozwijająca się motoryzacja, ciągła rozbudowa sieci dróg oraz różnorodność przewożonych ładunków stwarza zagrożenia dla ludzi, zwierząt i środowiska, które towarzyszą wypadkom drogowym. Statystyki podają, że 70% wypadków drogowych ma miejsce w terenie zabudowanym, a 30% w terenie niezabudowanym.

Wychodząc z klasycznej definicji ryzyka, metodyka jego wyznaczania w stosunku do komunikacji drogowej sprowadza się do wyznaczenia prawdopodobieństwa wystąpienia poważnej katastrofy transportowej i określenia skutków, które może ono spowodować [4]. Ocenę zagrożeń należy dokonać w odniesieniu do ludzi, emisji substancji niebezpiecznych do wód powierzchniowych lub podziemnych i do atmosfery oraz zanieczyszczeniu glebowo-roślinnym. W Polsce brak jest systemowego podejścia do analizy i oceny ryzyka związanego z transportem drogowym. Wykonywane tego typu oceny wykonuje się z wykorzystaniem metod stosowanych w państwach wysoko rozwiniętych adaptowanych do warunków krajowych [1] [2]. Pojazdy samochodowe przewożące substancje niebezpieczne są oznakowane prostokątnymi tablicami w kolorze pomarańczowym z czarnymi napisami określającymi numer rozpoznawczy

pojazdu i numer niebezpiecznej substancji według międzynarodowych oznaczeń. Tablice znajdują się z przodu i z tyłu pojazdu.

Komunikacja drogowa i kolejowa nie ma tak dużego wpływu na wody powierzchniowe i podziemne jak gospodarka wodna, przemysł, czy rolnictwo. W sytuacjach nadzwyczajnych może wywierać jednak znaczący wpływ lokalny, zwłaszcza gdy szlaki transportowe przechodzą przez tereny stref ochronnych ujęć wody dla potrzeb zaopatrzenia aglomeracji miejskich.

Oprócz nadzwyczajnych zagrożeń środowiska związanych z poważnymi awariami z udziałem środków transportu występują stałe zanieczyszczenia pasmowe, punktowe i przestrzenne związane z komunikacją lądową. Ten rodzaj zagrożeń nie będzie poruszany w treści tej pracy.

2. Założenia metody oceny zagrożenia

Przez poważną katastrofę rozumie się zdarzenie, które może wywołać jeden z następujących skutków:

- utratę życia co najmniej 10 osób,
- zanieczyszczenie wód powierzchniowych płynących (rzek)
 - ładunek powyżej 15 g/cm², w wypadku ropopochodnych i powyżej 5 g/cm², w wypadku innych substancji, które mogą w istotny sposób zmienić jakość wód na długości 10 km,
 - j.w. na obszarze 1 km² w wypadku wód powierzchniowych stojących (jeziora, zbiorniki wodne),
- zanieczyszczenie wód podziemnych przekraczające normatyw jakości ujmowanych wód, wyznaczone na podstawie współczynników przepuszczalności gruntu i miąższości warstwy wodonośnej.

Prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku transportowego o znamionach poważnej awarii wyznacza się przy następujących założeniach:

- w wypadku ludności, jest sumą prawdopodobieństw scenariuszy o poważnych skutkach, związanych z uwolnieniem substancji niebezpiecznych (toksycznych), pożarem i wybuchem,
- w wypadku wód powierzchniowych i podziemnych, jest sumą prawdopodobieństw scenariuszy o poważnych skutkach, związanych z

uwolnieniem do nich związków węglowodowych i innych substancji niebezpiecznych znacząco zmieniających jakość tych wód.

Podział obszarów prawdopodobieństw przedstawia się następująco:

- obszar prawdopodobieństw nieakceptowanych – ofiar śmiertelnych/rok powyżej 10^{-3} ,
- obszar prawdopodobieństw kontrolowanych – pomiędzy 10^{-5} a 10^{-3} ,
- obszar prawdopodobieństw tolerowanych – poniżej 10^{-5} .

3. Opis metody

Ogólny algorytm obliczeń prawdopodobieństwa wystąpienia wypadku transportowego o poważnych skutkach wymaga znajomości następujących danych:

- opisu otoczenia drogi,
- podziału gęstości zaludnienia na grupy, podziału drogi na odcinki,
- określeniu intensywności i struktury ruchu drogowego,
- podziału na grupy możliwych scenariuszy wypadkowych,
- obliczeniu częstości wypadków z udziałem niebezpiecznych substancji w poszczególnych grupach,
- wyznaczeniu prawdopodobieństwa każdego scenariusza awaryjnego.

W wypadku braku rzetelnych danych statystycznych można posłużyć się oszacowaniami z rozwiniętych krajów europejskich odnoszących się do intensywności wypadków w skali roku:

- autostrady $0,25 \div 0,65 \cdot 10^{-6}$ km · pojazd,
- drogi szybkiego ruchu $0,4 \div 0,6 \cdot 10^{-5}$ km · pojazd,
- główne drogi poza obszarem zabudowanym $0,8 \div 1,6 \cdot 10^{-6}$ km · pojazd,
- główne drogi w obszarach miejskich $1,7 \div 2,5 \cdot 10^{-6}$ km · pojazd.

Wyznaczenie prawdopodobieństwa wypadku transportowego o poważnych skutkach oddzielnie oblicza się dla ludności, a oddzielnie dla środowiska wodnego (wody powierzchniowe i wody podziemne).

Prawdopodobieństwo katastrofy transportowej każdorazowo wyznacza się według formuły:

$$P = 365 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F \cdot G \cdot H \quad (1)$$

gdzie:

Parametry ruchu pojazdów na drodze

365 · A – intensywność ruchu samochodów 1/rok, wartość średniodobowa ekstrapolowana na okres 1 roku,

B – udział samochodów ciężarowych w ruchu pojazdów,

C – intensywność wypadków w transporcie ciężarowym (s.c.km)⁻¹,

D – udział w transporcie ciężarowym materiałów niebezpiecznych,

Parametry scenariuszy zagrożeń

E – udział reprezentatywnego scenariusza w scenariuszach możliwych zagrożeń,

F – udział (procentowy) rozpatrywanej substancji niebezpiecznej w przewozach substancji niebezpiecznych,

G – prawdopodobieństwo warunkowe uwolnienia danej substancji niebezpiecznej przy założeniu zajścia wypadku drogowego podczas jej przewozu,

H – prawdopodobieństwo warunkowe tego, że po zajściu rozważanego scenariusza reprezentatywnego występują poważne skutki (podane w punkcie 2 pracy).

Rozpatrywane scenariusze zagrożeń przedstawiają się następująco:

- zagrożenia dla ludzi:
 - pożarowe (uwolnienie benzyny),
 - wybuchowe (uwolnienie propanu),
 - toksyczne (uwolnienie chloru),
- zagrożenia dla wód powierzchniowych i podziemnych:
 - uwolnienie węglowodanów (oleju opałowego),
 - uwolnienie tetrachloroetanu.

Dla transportu kolejowego prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza awaryjnego o poważnych skutkach w odniesieniu do 1 km w skali roku wyznacza się według formuły

$$P = I \cdot C \cdot K \cdot G \cdot H \quad (2)$$

gdzie:

I – średnia roczna liczba pociągów transportujących substancje niebezpieczne (pociągi/rok),

C – intensywność częstości wypadków (pociągi/rok),

K – prawdopodobieństwo, że wagon przewożący określoną substancję niebezpieczną wykolei się,

G – prawdopodobieństwo warunkowe uwolnienia substancji niebezpiecznej w wypadku wykolejenia się wagonu,

H – prawdopodobieństwo warunkowe, że po zajściu reprezentatywnego scenariusza awaryjnego wystąpią poważne skutki.

Scenariusze reprezentatywne zagrożeń przedstawiają się tak jak dla ruchu drogowego.

W wypadku linii kolejowych należy dodatkowo uwzględnić dostępność do prowadzenia ewentualnej akcji ratowniczej (możliwość dojazdu do miejsca wypadku).

4. Tok postępowania dla ruchu drogowego

Oszacowanie ryzyka dla ludzi i środowiska związane z uwolnieniem substancji niebezpiecznych w wyniku wypadku drogowego przedstawia się następująco:

- należy podzielić analizowaną drogę na odcinki 1 kilometrowe,
- każdemu odcinkowi przypisuje się parametry natężenia i bezpieczeństwa ruchu, udziału w tym ruchu samochodów ciężarowych przewożących substancje niebezpieczne, intensywności częstości wypadków,
- jako bazę danych należy wprowadzić:
 - dane demograficzne z poszczególnych gmin,
 - podkłady geodezyjne,
 - mapy hydrologiczne,
 - mapy geomorfologiczne,
 - mapy hydrograficzne,
 - mapy głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP),
 - mapy topograficzne,
- przyjmuje się dwie strefy zagrożenia:
 - bliższa (200 metrów od osi drogi),
 - dalsza (1500 metrów od osi drogi),
- rozpatruje się dwie klasy gęstości zaludnienia:
 - poniżej 1000 osób/km²,
 - powyżej 1000 osób/km²,

- przyjmuje się trzy klasy położenia głównego poziomu wodonośnego:
 - mała, do 2 m,
 - średnia, 2 ÷ 10 m,
 - duża, powyżej 10 m,
- przyjmuje się trzy klasy przepuszczalności gruntu:
 - mała, współczynnik filtracji poniżej 10^{-4} cm/s,
 - średnia, współczynnik filtracji od 10^{-2} do 10^{-4} cm/s,
 - duża, współczynnik filtracji powyżej 10^{-2} cm/s,
- dzieli się wody powierzchniowe na trzy klasy:
 - średnie natężenie przepływu $SQ < 5$ m³/s
 - Q 5 m³/s ≤ SQ ≤ 50 m³/s,
 - $SQ > 50$ m³/s.

Klasyfikacje substancji niebezpiecznych przyjmuje się zgodnie z Umową Europejską o międzynarodowym przewozie drogowym towarów niebezpiecznych (ARD).

Przy wstępnej analizie można przyjąć:

- 2 klasę dla propanu i chloru, 3 klasę dla benzyny i oleju opałowego oraz 6 klasę dla tetrachloroetanu,
- udziały procentowe rozpatrywanych substancji niebezpiecznych wstępnie można przyjąć: dla ludzi 25% udziału propanu i 15% chloru w 2 klasie, 40% udziału benzyny w 3 klasie, dla wód powierzchniowych i podziemnych, 100% udziału oleju opałowego w 3 klasie i 20% tetrachloroetanu w 6 klasie,
- prawdopodobieństwo warunkowe uwolnienia niebezpiecznej substancji w wyniku wypadku drogowego podczas jej przewozu wynosi: $G = 0,003$ – dla scenariusza związanego z wybuchem lub pożarem, $G = 0,002$ – dla scenariusza uwolnienia substancji toksycznych, $G = 0,005$ – dla scenariusza z uwolnieniem oleju opałowego i $G = 0,008$ dla scenariusza z uwolnieniem tetrachloroetanu.

5. Krótka charakterystyka medycyny katastrof

Jednym z podstawowych kanonów medycyny zagrożeń jest ocena zejść śmiertelnych spowodowanych zdarzeniami katastroficznymi typu zatrucia. Występują one w trzech podziałach czasowych:

- śmierć natychmiastowa – kilkadziesiąt minut po zdarzeniu niepożądanym, brak możliwości interwencji medycznej, 10% zgonów,
- śmierć wczesna – w ciągu 12 – 24 godzin po zdarzeniu niepożądanym, 40% zgonów,
- śmierć późna – po upływie kilku dób, 50% zgonów.

Śmierć wczesna ma miejsce w czasie tzw. „złotych godzin”. Terminem tym określane jest czas, jaki upływa od momentu zatrucia do całkowitego specjalistycznego zaopatrzenia chorych w szpitalu. W tym czasie decydują się szanse na przeżycie poszkodowanych w wyniku podjęcia prawidłowych działań medyczno–ratunkowych. Obecnie mówi się już nawet o „platynowym kwadransie” tj. czasie, w którym pogotowie ratunkowe powinno dotrzeć do poszkodowanych, udzielić pierwszej pomocy medycznej i rozpocząć transport do szpitala.

Nadrzędnym celem medycyny katastrof jest ratowanie zdrowia i życia ludzi w warunkach całkowicie odmiennych od rutynowej codziennej opieki medycznej. Zajmuje się ona także planowaniem, organizacją i zarządzaniem akcji ratowniczych, w których mamy do czynienia z masowo napływającą liczbą poszkodowanych. Można mówić o taktyce i strategii akcji ratowniczych oraz terapii zbiorowej w myśl zasady „to co najlepsze dla jak największej liczby poszkodowanych we właściwym czasie i w odpowiednim miejscu”.

Medycyna katastrof składa się z następujących działów: pierwszej pomocy przedszpitalnej, zabezpieczenia sanitarno–epidemiologicznego, epidemiologii katastrof, psychologii i socjologii akcji ratowniczych, zarządzania i logistyki w sytuacjach nadzwyczajnych [3].

Jakkolwiek podstawowym podmiotem jest każdy pojedynczy człowiek, to specyfika współczesnych zdarzeń i zagrożeń awariami i katastrofami cywilizacyjno–środowiskowymi wymaga traktowania go jako ofiary zbiorowego uszkodzenia. Do podstawowych zadań medycyny katastrof zalicza się:

- opracowanie scenariuszy teoretycznych zdarzeń nadzwyczajnych,
- analizę i ocenę ryzyka wystąpienia zbiorowych zagrożeń,

- przygotowanie rozwiązań organizacyjno–prawnych w wymiarze lokalnym, regionalnym i krajowym,
- badanie aspektów medycznych w odniesieniu do masowych poszkodowań ludzi w wyniku nadzwyczajnych zdarzeń niepożądanych,
- analizy następstw wtórnych awarii i katastrof w ujęciu problematyki sanitarno–epidemiologicznej.

6. Podsumowanie

- Współczesne zagrożenia cywilizacyjne wymagają wieloaspektowych analiz ryzyk z nim związanymi. Transport substancji niebezpiecznych stwarza potencjalne zagrożenie dla ludzi i środowiska. W pracy przedstawiono zarys metodyki oszacowania ryzyka w przedmiotowym temacie.
- Oprócz umiejętności szacowania ryzyka związanego z transportem substancji niebezpiecznych należy korzystać z właściwych rozwiązań technicznych usprawniających ruch drogowy:
 - wysokiej jakości nawierzchnie drogi, właściwie wyprofilowane łuki zakrętów, odpowiednie oznakowanie drogi, a sama droga musi posiadać pobocza,
 - pojazdy przewożące substancje niebezpieczne powinny być oznakowane zgodnie z obowiązującymi przepisami i poruszać się z prędkością dla nich dozwoloną,
 - powszechna dostępność informacji o stanie dróg i warunkach pogodowych.
- Wczesne powiadomienie służb ratowniczych w wypadku pojazdu z udziałem substancji niebezpiecznych daje możliwość efektywnego reagowania. W każdej sytuacji wypadkowej istnieje możliwość interwencji człowieka w celu powstrzymania zdarzenia przed eskalacją typu „efektu domina”, co do ciężkości skutków.
- Scenariusze wypadkowe powinny mieć aprobatę wojewódzkich komendantów Państwowej Straży Pożarnej i Policji. Ze względu na możliwość wystąpienia nadzwyczajnych zagrożeń w wyniku wypadku drogowego pojazdów przewożących substancje niebezpieczne drogi do tego

przeznaczone w planach przestrzennego zagospodarowania powinny posiadać strefy ograniczonego użytkowania do 250 metrów.

Literatura

- [1] Borysewicz M., Potemski S., Furtek A.: *Praktyczne algorytmy ocen ryzyka dla człowieka i środowiska od szlaków transportu niebezpiecznych substancji*. Strona Internetowa MANHAZ.
- [2] Kacprzyk W.: *Praktyczne zastosowanie algorytmu oceny ryzyka w ocenie zagrożenia ludzi i środowiska w wyniku katastrofy transportowej z uwolnieniem substancji niebezpiecznej*. Wyciąg z oceny oddziaływania atmosfery A-2. Zakład Polityki Ekologicznej Instytutu Ochrony Środowiska, Warszawa 2000.
- [3] Rak J.: *Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę*. Komitet Inżynierii Środowiska PAN, t. 28, s. 1 – 215, 2005.
- [4] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: *Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, s. 1 – 178, 2005.