

SZACOWANIE BEZPIECZEŃSTWA TRANSPORTU MIESZANINY PROPAN-BUTAN METODAMI DRZEWA ZDARZEŃ I NIEZDATNOŚCI ORAZ METODĄ PROBABILISTYCZNĄ

Oszacowano zagrożenie osób w wyniku pożaru pojazdu dostawczego z butlami 11 kg oraz 33 kg zawierającymi propan-butan techniczny, spowodowanego ich nieszczelnością. Wyznaczono prawdopodobieństwo rozszczelnienia butli z gazem skroplonym LPG, w ciągu roku podczas czynności załadunku, wyładunku i transportu w firmie handlu obożnego. Oszacowano cząstkowe i całkowite ryzyka wystąpienia ciężkiego obrażenia ciała kierowcy oraz ryzyko jego śmierci w przypadku zdarzenia pożaru na skrzyni ładunkowej oraz zdarzenia wystrzału opony. W ocenie ryzyka zastosowano metody drzewa zdarzeń/niezawodności i drzewa niezdatności/błędu oraz metodę probabilistyczną.

WSTĘP

Jednym z elementów działania na rzecz poprawy bezpieczeństwa jest analiza ryzyka [2, 5, 6, 8, 12, 18, 21]. Wśród przyczyn zagrożeń najczęściej wymienia się: czynnik ludzki (błąd operatora), zły stan techniczny pojazdu, zły stan techniczny dróg, brak wytyczonych tras przewozu, inne [1, 2, 3, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 22]. Ryzyko (risk, hazard) – jest pojęciem wieloznacznym, trudnym do zdefiniowania [21].

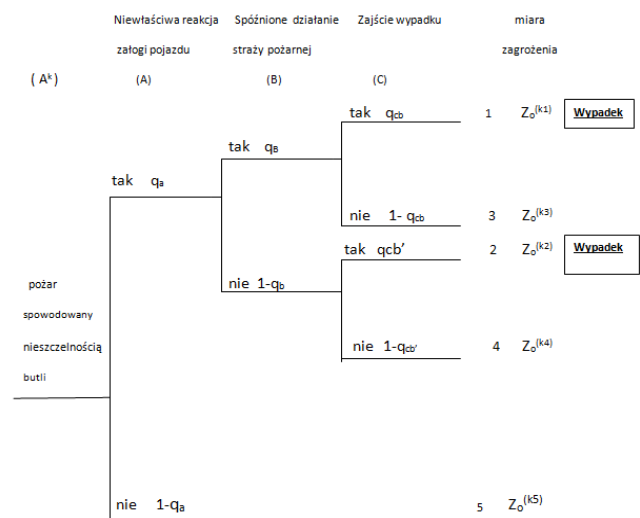
1. ANALIZA LITERATURY

Ryzyko w transporcie drogowym jest to „kombinacja prawdopodobieństwa aktywizacji zagrożenia w zdarzeniu niepożądanym i spowodowanych w związku z tym szkód [9, 10, 21]. W normie PN-IEC 300-3-9 [16] ryzyko jest definiowane, jako kombinacja lub prawdopodobieństwo wystąpienia określonego zdarzenia niebezpiecznego (które może powodować szkodę) oraz konsekwencji związanych z tym zdarzeniem. W słowniku języka polskiego antonimem dla słowa ryzyko, znajduje się 12 określeń, w tym także bezpieczeństwo jak i pewność, asekuracja. Norma brytyjska BS 18004:2004 [4], wyodrębnia trzy kategorie strat (krzywdy): stopień szkodliwości mały (wight harm), średni (harm) i duży (extreme harm). Według polskiej normy PN-I-13335-1:1999 [17], zarządzanie ryzykiem jest jednym z kilku elementów procesu zarządzania bezpieczeństwem systemów IT (Information technology). Podstawowym celem oceny ryzyka zawodowego jest zapewnienie pracownikom bezpieczeństwa i ochrony zdrowia. Bezpieczeństwo jest utożsamiane z warunkami i postępowaniem, dla których ryzyko utraty życia lub zdrowia lub/i zniszczenia środowiska czy strat finansowych, nie przekroczy granicznego (akceptowalnego) poziomu.

2. RYZYKO WYPADKU I AWARII PODCZAS TRANSPORTU LPG WYZNACZONE METODĄ DRZEWA ZDARZEŃ

Określono poziom zagrożenia ludzi, metodą zdarzeń/niezawodności [20], spowodowany pożarem wywołanym przez rozszczelnienie butli gazowych podczas załadunku, które będzie

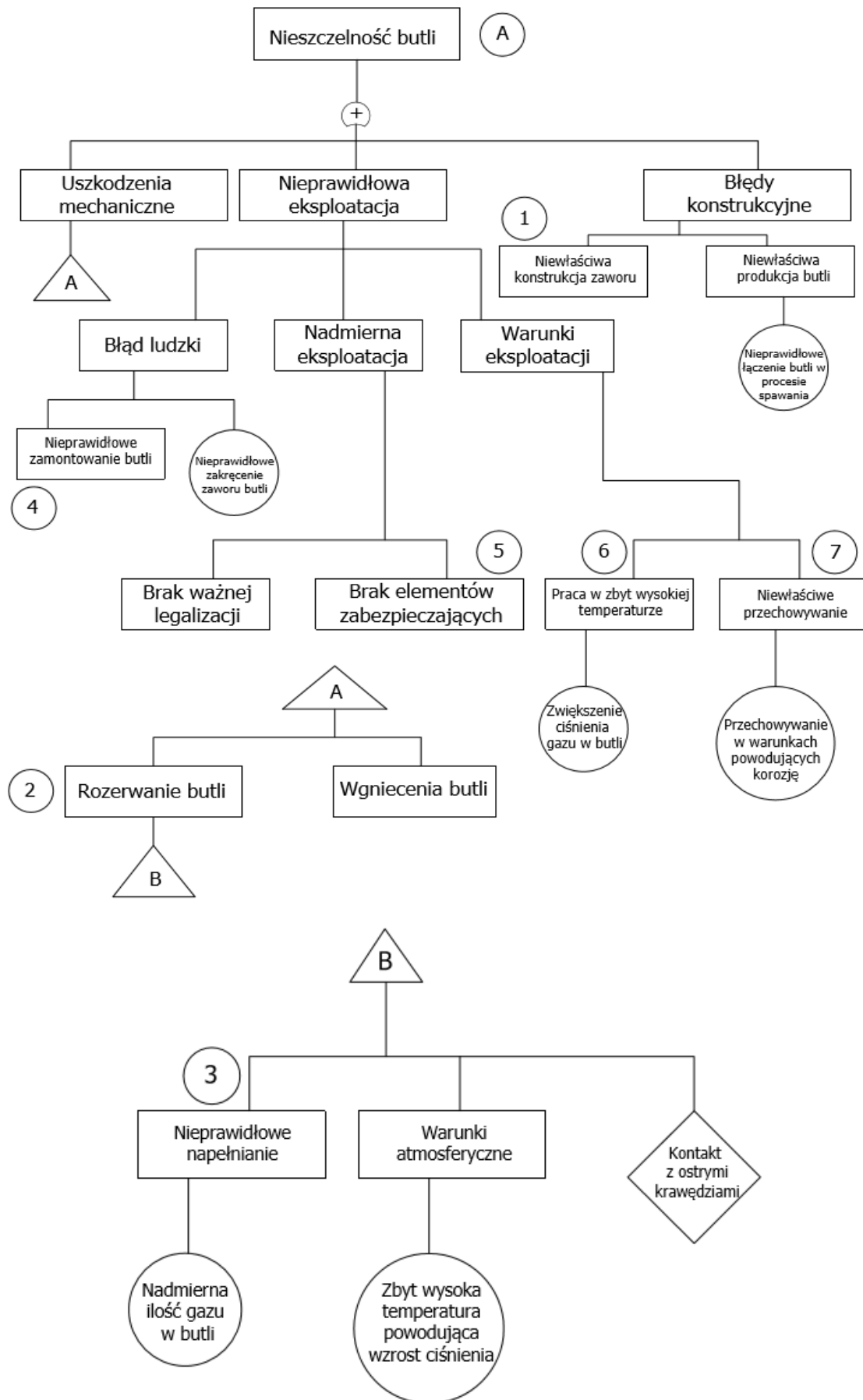
mogło prowadzić do zdarzeń powodujących wypadek (rys. 1). Według szacunkowych danych przebieg/scnariusz zdarzeń pierwszych (1, rysunek 1) spowoduje, $Z_o(k1)=4$ osoby ranne/zabite, przebieg zdarzeń drugich (2, rysunek 1), $Z_o(k2)=2$ osoby ranne/zabite. Pozostałe zdarzenie nie prowadzą do wypadku, więc ich wartość wynosi zero. Wartości prawdopodobieństwa odpowiednich zdarzeń wynoszą odpowiednio; $q_a=0,35$, $q_b=0,25$, $q_{cb}=0,4$, $q_{cb'}=0,1$.



Rys. 1. Konstrukcja drzewa zdarzeń/niezawodności: q_a – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia (A), q_b – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia (B), q_{cb} – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia (CB) oraz $q_{cb'}$ – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia (CB) w przypadku nie spóźnionego działania straży pożarnej

Zagrożenia $Z_o^{(k1)}$, $Z_o^{(k2)}$ oraz ich częstości $q^{(k1)}$, $q^{(k2)}$ prowadzą do wypadku. Wypadek ten powoduje obrażenia lub śmierć określonej liczby osób. Informacje zawarte na drzewie zdarzeń/niezawodności pozwalają na zapisanie, dla zdarzeń $A(k)$, następującego wyrażenia na miarę ryzyka wynikłą z ich wystąpienia (1) [21]:

$$Z_o^{(k)} = q^{(k1)} Z_o^{(k1)} + q^{(k2)} Z_o^{(k2)} \quad (1)$$



Rys. 2. Drzewo niezdatności/błędu zdarzenia A – nieszczelność butli mieszaniny gazu propan-butan

Prawdopodobieństwo zdarzenia: według pierwszego scenariusza wynosi $q^{(k1)}$ (2) oraz według drugiego jego przebiegu $q^{(k2)}$ (3).

$$q^{(k1)} = q_a \cdot q_b \cdot q_{cb} = 0,35 \cdot 0,25 \cdot 0,4 = 0,0350 \quad (2)$$

$$q^{(k2)} = q_a \cdot (1 - q_b) \cdot q_{cb} = 0,35 \cdot (1 - 0,25) \cdot 0,1 = 0,0262 \quad (3)$$

Ze wzoru (1), miara zagrożenia $Z_o^{(k)}$ ma wartość (4).

$$Z_o^{(k)} = 0,0350 \cdot 4 + 0,0262 \cdot 2 = 0,1400 + 0,0525 = 0,1925 \quad (4)$$

Powyższe obliczenia świadczą, że przebieg zdarzeń zdefiniowanych jako pierwsze jest groźniejszy od przebiegu zdarzenia drugich. Powyższe wartości, miary zagrożenia, można zinterpretować, że liczba rannych/zabitych w stu tego typu zdarzeniach może wynieść około 19 osób.

3. ZAGROŻENIE ROZSZCZELNIENIEM BUTLI 11 KG I 33 KG Z GAZEM SKROPLONYM LPG WYZNACZONE METODĄ DRZEWA NIEZDATNOŚCI

Zdarzeniem szczytowym [19], w opracowanym drzewie niezdatności/błędu (rys. 2), jest nieszczelność butli mieszanki gazu propan-butan. Okres/czas analizy wynosił jeden rok (8760 godzin). Rozszczelnienie butli może, bowiem pojawić się w dowolnym momencie jej eksploatacji; zarówno podczas przechowywania, użytkowania jak i transportu lub magazynowania. Liczby awarii, określone jako kategorie prawdopodobieństw – częstości występowania, są wartościami umownymi, stosowanymi w technice, ich wartości zamieszczono w tabelicy 1.

Tab. 1. Kategorie prawdopodobieństw i częstość wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych

Kategorie prawdopodobieństw	Częstość występowania
Bardzo prawdopodobne	$>10^{-1}$
Prawdopodobne	$10^{-1} - 10^{-3}$
Mało prawdopodobne	$10^{-3} - 10^{-5}$
Bardzo mało prawdopodobne	$10^{-5} - 10^{-7}$
Wyjątkowe	$<10^{-7}$

Tab. 2. Zdarzenia podstawowe i wartości wskaźników awaryjności analizowanego drzewa niezdatności/błędu

Lp.	Zdarzenie podstawowe	Liczba zdarzeń, -	Wskaźnik awaryjności, awaria/godz.
q ₁	Nieprawidłowa konstrukcja zaworu	6	$6,85 \cdot 10^{-4}$
q ₂	Rozerwanie butli	1	$1,14 \cdot 10^{-4}$
q ₃	Nieprawidłowe napełnienie	2	$2,28 \cdot 10^{-4}$
q ₄	Niewłaściwe zamocowanie	15	$1,71 \cdot 10^{-3}$
q ₅	Brak elementów zabezpieczających	40	$4,57 \cdot 10^{-3}$
q ₆	Praca w zbyt wysokiej temperaturze	2	$2,28 \cdot 10^{-4}$
q ₇	Niewłaściwe przechowywanie	2	$2,28 \cdot 10^{-4}$

Rozpatrywane zdarzenia podstawowe zamieszczono na rysunku 2, od 1 do 7 w okręgach oraz wymieniono w tabelicy 2. Wskaźnik awaryjności zdarzeń wyznaczono z zależności (5). Obliczone ich wartości zamieszczono w tabelicy 2 oraz sposób obliczenia przedstawiają zależności od (6) do (12).

$$WA = \frac{LA}{CP} \quad (5)$$

gdzie:

WA – wskaźnik awaryjności, 1/godz.,

LA – liczba awarii, -,

CP – czas pracy, godziny.

$$q_1 = \frac{6 \text{ usterek}}{8760 \text{ godz.}} = 6,84 \cdot 10^{-4} \quad (6)$$

$$q_2 = \frac{1 \text{ usterka}}{8760 \text{ godz.}} = 1,14 \cdot 10^{-4} \quad (7)$$

$$q_3 = \frac{2 \text{ usterek}}{8760 \text{ godz.}} = 2,28 \cdot 10^{-4} \quad (8)$$

$$q_4 = \frac{15 \text{ usterek}}{8760 \text{ godz.}} = 1,71 \cdot 10^{-3} \quad (9)$$

$$q_5 = \frac{40 \text{ usterek}}{8760 \text{ godz.}} = 4,56 \cdot 10^{-3} \quad (10)$$

$$q_6 = \frac{2 \text{ usterek}}{8760 \text{ godz.}} = 2,28 \cdot 10^{-4} \quad (11)$$

$$q_7 = \frac{2 \text{ usterek}}{8760 \text{ godz.}} = 2,28 \cdot 10^{-4} \quad (12)$$

Do obliczeń przejęto liczby zdarzeń podstawowych na podstawie danych statystycznych jednej z firm handlu obwoźnego gazu propan-butan w butlach stalowych, bez kołnierza 11 kg oraz 33 kg z kołpakami ochronnymi zabezpieczającymi zawór przed ewentualnym uszkodzeniem. Na jeden samochód otwarty można maksymalnie zabrać 77 butli ułożonych obok siebie, z założonymi plombami uniemożliwiającymi wyciek LPG. Butle nie są piętrowane. Podczas transportu mniejszej liczby butli, jako dodatkowe zabezpieczenie używa się pasy mocujące. Rozładunek i załadunek butli odbywa się na dwa sposoby. Pierwszy sposób z wykorzystaniem rampy, a drugi to bezpośrednio z naczepy ciągnika siodłowego dystrybutora na samochód dostawczy. Na rampach umieszczane są tylko butle 11 kg. Butle 33 kg, jako że mają spory ciężar i większą wysokość, umieszczane są na płycie betonowej. Rampy mają dostęp z dwóch stron. Jedna strona służy do składowania butli pełnych, na drugiej umieszcza się butle puste. Ważne jest, aby różne rodzaje butli składować oddzielnie obok siebie. Oprócz butli propan-butan, dla gospodarstw domowych, użytkowanych w pozycji pionowej i powyżej poziomu ziemi, są bowiem butle odmiennej konstrukcji do zasilania wózków widłowych, mocowane w pozycji poziomej. Są one specjalnie odmiennie oznaczone, więc łatwo je rozróżnić.

Na rysunku 2 przedstawiono analizowane drzewo niezdatności/błędu. Prawdopodobieństwo zdarzenia szczytowego $P\{A\}$, na podstawie drzewa niezdatności, po podstawieniu wartości wskaźnika awaryjności zdarzeń podstawowych, z tabelicy 2, wyznaczono na podstawie zależności (13).

$$P\{A\} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 = 7,76 \cdot 10^{-3} \quad (13)$$

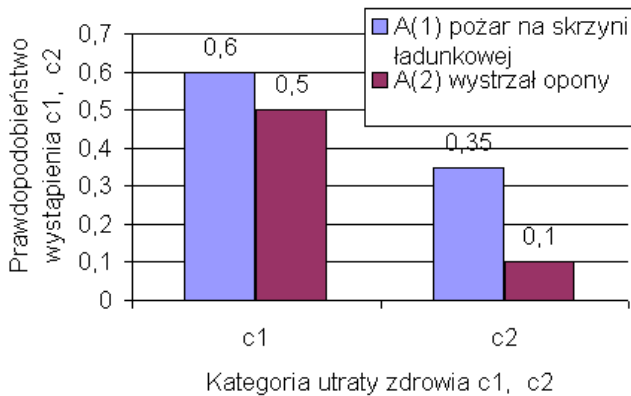
Wynosi ono około 8 zdarzeń rozszczelnienia butli, na tysiąc operacji manipulowania i transportowania butli z gazem skroplonym propan-butan oraz autogazem.

4. PRAWDOPODOBIEŃSTWO I RYZYKO UTRATY ZDROWIA LUB ŻYCIA W WYNIKU ZDARZEŃ PODCZAS TRANSPORTU LPG WYZNACZONYCH METODĄ PROBABILISTYCZNĄ

Analizowano model ryzyka indywidualnego, związanego z transportem materiału niebezpiecznego (propan-butan) z miejsca A do miejsca B. Przyjęto, czas analizy 1 rok mający 220 dni roboczych. W trakcie pokonywania trasy przez samochód dostawczy z butlami LPG rozpatrywano dwa zdarzenia niepożądane, których wystąpienie może powodować ciężkie obrażenia ciała lub śmierć jednego kierowcy. Zdarzenia niepożądane to:

- A⁽¹⁾ - pożar na skrzyni ładunkowej,
- A⁽²⁾ - wystrzał opony (pęknięcie) podczas transportu.

Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia A⁽¹⁾, podczas jednego dnia roboczego wynosiło $Q_1 = 0,05 \cdot 10^{-6}$. Z kolei prawdopodobieństwo zdarzenia drugiego A⁽²⁾, także podczas jednego dnia roboczego, ma wartość $Q_2 = 0,25 \cdot 10^{-6}$. Założono także, że prawdopodobieństwo wystąpienia powyższych zdarzeń może prowadzić do ciężkich obrażeń ciała $c_1(0,60, 0,35)$ lub do śmierci kierowcy pojazdu $c_2(0,50, 0,10)$ co przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Prawdopodobieństwo ciężkiego obrażenia ciała c_1 lub utraty życia c_2 przez kierowcę spowodowanej dwoma zdarzeniami A⁽¹⁾ lub A⁽²⁾

Mając powyższe dane wyznaczono miary ryzyka cząstkowego [21], dla podanych zdarzeń z zależności (14).

$$\Lambda^{(1)}(c, t) = Q^{(1)}(t1) \cdot Z^{(1)}(c) \quad (14)$$

gdzie:

Z - miara zagrożenia kierowcy pojazdu przewożącego materiał niebezpieczny dla kategorii obrażeń ciała c_1, c_2 ,

t – liczba przejazdów $t=1$,

c - kategoria utraty zdrowia przez kierowcę (c_1 - ciężkie obrażenia ciała kierowcy, c_2 - śmierć kierowcy).

Miara ryzyka zdarzenia pierwszego i drugiego wynosi (15).

$$\Lambda^{(1)}(c, 1) = Q^{(1)}(1) \cdot Z^{(1)}(c), \quad (15)$$

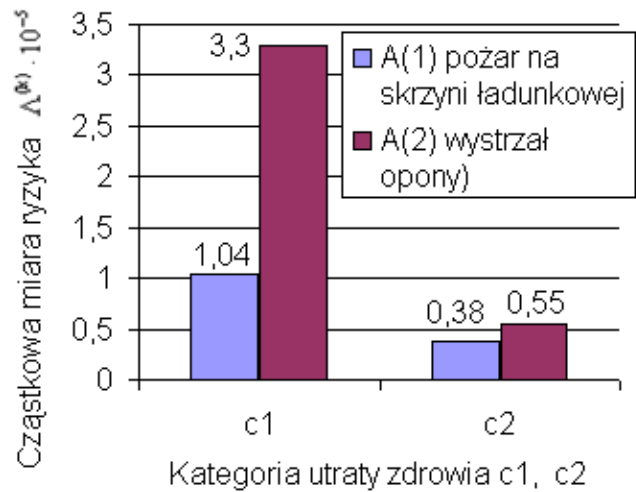
$$\Lambda^{(2)}(c, 1) = Q^{(2)}(1) \cdot Z^{(2)}(c)$$

Do wyznaczenia miary ryzyka całkowitego zastosowano zależność (16).

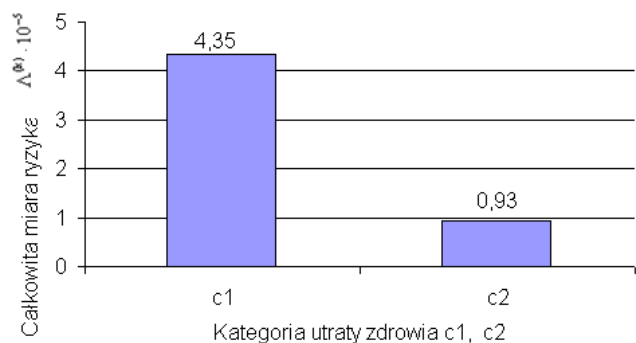
$$\Lambda(c, 1) = \Lambda^{(1)}(c, 1) + \Lambda^{(2)}(c, 1) \quad (16)$$

Miary zagrożenia Z(c) kierowcy pojazdu typu EX/II, według umowy ADR (L' Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route), podczas transportu materiału niebezpiecznego wyznaczono z zależności (17)-(20). Dotyczą one kategorii ryzyka c_1, c_2 . Oznaczają one odpowiednio -

ciężkie obrażenia albo utratę życia kierowcy. Do ich wyznaczenia znano wartości prawdopodobieństw powyższych zdarzeń: utraty zdrowia przez kierowcę $c_1(0,60, 0,35)$ oraz śmierci kierowcy pojazdu $c_2(0,50, 0,10)$.



Rys. 4. Wartości ryzyka cząstkowego ciężkiego obrażenia ciała c_1 lub utraty życia c_2 przez kierowcę spowodowanej dwoma wyodrębnionymi zdarzeniami A⁽¹⁾ lub A⁽²⁾



Rys. 5. Wartości miar ryzyka całkowitego ciężkiego obrażenia ciała c_1 lub utraty życia c_2 przez kierowcę spowodowanej dwoma równoczesnymi zdarzeniami A⁽¹⁾ oraz A⁽²⁾

$$Z^{(1)}(c_1) = p_1^{(1)} + p_2^{(1)} = 0,60 + 0,35 = 0,95 \quad (17)$$

$$Z^{(1)}(c_2) = p_2^{(1)} = 0,35 \quad (18)$$

$$Z^{(2)}(c_1) = p_1^{(2)} + p_2^{(2)} = 0,50 + 0,10 = 0,60 \quad (19)$$

$$Z^{(2)}(c_2) = p_2^{(2)} = 0,10 \quad (20)$$

Wyniki świadczą, że zdarzenia A⁽¹⁾ niesie większe prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia c_1 oraz c_2 , dla kierowcy, niż zdarzenie A⁽²⁾ (rys. 3). Prawdopodobieństwo zajścia zdarzeń roczne, dla $m=220$ dni, znając prawdopodobieństwo pożaru na skrzyni ładunkowej i prawdopodobieństwo wystrzału opony w ciągu jednego dnia, wynosi więc $Q_{IR} = m \cdot Q_1$. Uzyskano następujące ich wartości, (20), (21).

$$Q_{1r} = 220 \cdot 0,05 \cdot 10^{-6} = 11 \cdot 10^{-6} \quad (20)$$

$$Q_{2r} = 220 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6} = 55 \cdot 10^{-6} \quad (21)$$

Mając obliczone miary zagrożenia $Z^{(1)}$ i $Z^{(2)}$ oraz wartości prawdopodobieństw $Q^{(1)}(1)$, $Q^{(2)}(1)$ wyznaczono za pomocą wzoru (14) cząstkową miarę ryzyka, (22)-(25).

$$\Lambda^{(1)}(c_1, 1) = Q^{(1)}(1) \cdot Z^{(1)}(c_1) = 11 \cdot 10^{-6} \cdot 0,95 = 1,04 \cdot 10^{-5} \quad (22)$$

$$\Lambda^{(2)}(c_1, 1) = Q^{(2)}(1) \cdot Z^{(2)}(c_1) = 55 \cdot 10^{-6} \cdot 0,60 = 3,30 \cdot 10^{-5} \quad (23)$$

$$\Lambda^{(1)}(c_2, 1) = Q^{(1)}(1) \cdot Z^{(1)}(c_2) = 11 \cdot 10^{-6} \cdot 0,35 = 0,38 \cdot 10^{-5} \quad (24)$$

$$\Lambda^{(2)}(c_2, 1) = Q^{(2)}(1) \cdot Z^{(2)}(c_2) = 55 \cdot 10^{-6} \cdot 0,10 = 0,55 \cdot 10^{-5} \quad (25)$$

Mając powyższe dane i ich wartości, obliczono miarę ryzyka całkowitego utraty zdrowia lub życia w wyniku zdarzeń podczas transportu mieszaniny gazu propan-butan. Korzystano ze wzoru (15). Uzyskane wartości przedstawiają zależności (26) i (27).

$$\Lambda(c_1, 1) = \Lambda^{(1)}(c_1, 1) + \Lambda^{(2)}(c_1, 1) = 1,04 + 3,30 \cdot 10^{-5} = 4,35 \cdot 10^{-5} \quad (26)$$

$$\Lambda(c_2, 1) = \Lambda^{(1)}(c_2, 1) + \Lambda^{(2)}(c_2, 1) = 0,38 + 0,55 \cdot 10^{-5} = 0,93 \cdot 10^{-5} \quad (27)$$

Na podstawie powyższych wartości opracowano rysunki prawdopodobieństwa utraty zdrowia (rys. 3), miary ryzyka cząstkowego kierowcy, odnoszącego się do obu wyodrębnionych zdarzeń (rys. 4) oraz miary ryzyka całkowitego utraty zdrowia przez kierowcę (rys. 5). Wypadki dotyczyły: c_1 ciężkiego obrażenia ciała oraz c_2 śmierci kierowcy.

Uzyskanie wyniku świadczą, że poziom zagrożenia dla kierowcy spowodowany zdarzeniem $A^{(1)}$ jest większy niż poziom zagrożenia kierowcy dla zdarzenia $A^{(2)}$ (rys. 3). Miary ryzyka cząstkowego zdarzeń na (rys. 4) przedstawia natomiast, że ryzyko zdarzenia $A^{(1)}$ prowadzi do dużo mniejszego zagrożenia, niż zdarzenie $A^{(2)}$. Ryzyko całkowite (rys. 5) z kolei wskazuje, że wystąpienie równocześnie obu zdarzeń, $A^{(1)}$ pożar na skrzyni ładunkowej oraz $A^{(2)}$ wystrzał opony podczas transportu, prowadzi do ciężkich obrażeń kierowcy w większym stopniu $\Lambda(c_1, 1) = 4,35 \cdot 10^{-5}$. Całkowita miara ryzyka śmierci kierowcy jest znacznie mniejsza, wynosi bowiem $\Lambda(c_2, 1) = 0,93 \cdot 10^{-5}$.

PODSUMOWANIE

Zagrożenie osób w wyniku pożaru pojazdu dostawczego, spowodowanego rozszczelnieniem transportowanych butli 11 kg oraz 33 kg zawierających PLG, jest wysokie i wynosi $Z_o^{(k)} = 0,1925$. Oznacza to iż 19 osób będzie rannych lub utraci życie podczas 100 tego typu zdarzeń. Zostało ono wyznaczone dla przyjętego pierwszego scenariusza zdarzeń podczas rozpatrywanego pożaru: niewłaściwa reakcja załogi pojazdu, spóźnione działanie straży pożarnej, zajęcie wypadku poparzenia i zagrożenia życia czterech osób

dla prawdopodobieństwa $q_{ob} = 0,4$. Scenariusz drugiego wypadku pożaru butli z mieszaniną gazu propan-butan, spowodowany ich rozszczelnieniem, miał przebieg: niewłaściwa reakcja załogi pojazdu, nie spóźnione działanie straży pożarnej, zajęcie wypadku poparzenia lub śmierci dwu osób gdy prawdopodobieństwa zajścia wypadku wynosi $q_{ob} = 0,1$ (profesjonalne działanie straży pożarnej). Jednocześnie wartość prawdopodobieństwa wypadku pierwszego $q^{(k1)}$ jest wysokie i wynosi 0,0350 oraz dotyczy 4 osób z kolei prawdopodobieństwa wypadku drugiego $q^{(k2)}$ dotyczące dwu osób, jest mniejsze i wynosi 0,0262.

Prawdopodobieństwo rozszczelnienia butli gazu skroplonego LPG, w ciągu roku, ma wartość $P\{A\} \approx 8 \cdot 10^{-3}$, czyli 8 przypadków na tysiąc czynności manipulacji, załadunku/wyładunku i transportu, co wynika z zamieszczonego drzewa niezdatności/błędu. Wystąpi to wówczas, gdy zajdzie, chociaż jedno ze rozpatrywanych zdarzeń podstawowych: nieprawidłowa konstrukcja zaworu q_1 , rozerwanie butli q_2 , nieprawidłowe napełnienie q_3 , niewłaściwe zamontowanie q_4 , brak elementów zabezpieczających q_5 , praca w zbyt wysokiej temperaturze q_6 oraz niewłaściwe przechowywanie q_7 . Wyznaczono tą wartość prawdopodobieństwa $P\{A\}$, dla wskaźnika awaryjności zdarzeń podstawowych: $q_1 = 6,84 \cdot 10^{-4}$, $q_2 = 1,14 \cdot 10^{-4}$, $q_3 = 2,28 \cdot 10^{-4}$, $q_4 = 1,71 \cdot 10^{-3}$, $q_5 = 4,56 \cdot 10^{-3}$, $q_6 = 2,28 \cdot 10^{-4}$ oraz $q_7 = 2,62 \cdot 10^{-4}$.

Podczas transportu butli 11 kg oraz 33 kg z LPG, zdarzenie wystrzału opony prowadzi do dużego ryzyka ciężkiego obrażenia ciała kierowcy c_1 , gdyż ma wartość $\Lambda^{(2)}(c_1, 1) = 3,30 \cdot 10^{-5}$. Również zdarzenie wystrzału opony stwarza większe zagrożenie śmierci kierowcy c_2 , niż pożar na skrzyni ładunkowej. Miara tego ryzyka cząstkowe ma bowiem wartość $\Lambda^{(2)}(c_2, 1) = 0,55 \cdot 10^{-5}$. Jej wartość w zdarzeniu pożaru na skrzyni ładunkowej samochodu ma z kolei wartość $\Lambda^{(1)}(c_2, 1) = 0,38 \cdot 10^{-5}$.

Wyznaczone ryzyko całkowite ciężkiego obrażenia ciała kierowcy samochodu dostawczego transportującego butle 11 kg oraz 33 kg z mieszaniną technicznego propan-butan, jest znacznie większe niż ryzyko utraty przez niego życia. Miara ciężkiego obrażenia ciała kierowcy wynosi bowiem $\Lambda(c_1, 1) = 4,35 \cdot 10^{-5}$, czyli około 44 przypadki na milion obydwu rozpatrywanych zdarzeń: $A^{(1)}$ – pożar na skrzyni ładunkowej oraz $A^{(2)}$ wystrzał opony podczas transportu. Ryzyko śmierci kierowcy, podczas pracy obwoźnej, z mieszaniną LPG wynosi około 9 przypadków na milion dwu tych zdarzeń.

Poprzez przestrzeganie zasad bezpieczeństwa i higieny, człowiek redukuje ryzyko do akceptowane poziomu resztkowego. Albert Einstein sformułował to tak: - gdy nasze obliczenia zawodzą, nazywamy to przypadkiem. Jest więc on często tylko ludzkim sposobem na wyjaśnienie zdarzenia, którego prawidłowości nie rozumiemy, bo brakuje nam odpowiedniej wiedzy.

BIBLIOGRAFIA

1. Bęczkowska S, Grabarek I, Choromański W., *Modele oceny ryzyka w drogowym transporcie towarów niebezpiecznych*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, z. 96, 77-86, Transport, Warszawa 2013. .
2. Bomba J., *Transport ładunków niebezpiecznych*, [W:] D. Marciniak-Neider, J. Neider (praca zbiorowa po redakcją): *Podręcznik spedytora, Tom 2*, Polska Izba Spedycji i Logistyki, Gdynia 2011.
3. Borysiewicz M., Potemski S., *Praktyczne algorytmy oceny ryzyka dla człowieka i środowiska od szlaków transportu towarów*

- niebezpiecznych, Instytut Energii Atomowej 2001, Otwock - Świerk.
4. BS 18004:2004, *Occupational health and safety management systems, Guide*.
 5. Dorobek S., Kowalewska A., *BHP przy przewozach materiałów niebezpiecznych*, Autobusy – Bezpieczeństwo i ekologia, 6, 146-155, 2016.
 6. Grzegorzczak K, Buchcar R., *Przewóz drogowy towarów niebezpiecznych ADR 2017-2019*, Wydawnictwo: Buch-Car, Błonie 2016.
 7. Janczak A., *ADR w spedycji i magazynie – Składowanie i przewóz materiałów niebezpiecznych vademecum BHP*, Dom Wydawniczy Zacharek, Warszawa 2010.
 8. Kizyn M., *Poradnik przechowywania substancji niebezpiecznych zgodnie z wytycznymi unijnymi REACH i CLP*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Warszawa 2011.
 9. Krystek R. (red.), *Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu: praca zbiorowa T.1, Diagnoza bezpieczeństwa transportu w Polsce*, WKiŁ, Warszawa 2009.
 10. Krystek R. (red.), *Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu: praca zbiorowa T.2, Uwarunkowania rozwoju integracji systemów bezpieczeństwa transportu*, WKiŁ, Warszawa 2009.
 11. Kwaśniewski S., Kulczyk J., Kierzkowski A., Józwiak Z., *Ładunki niebezpieczne w transporcie towarów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2014.
 12. Mężyk A., *Przewozy ładunków niebezpiecznych na obszarach miejskich*, Autobusy - Logistyka, 12, 1637-1642, 2016.
 13. Młyńczak M., *Analiza ryzyka w transporcie i przemyśle*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
 14. Pająk M., Madej M., Ozimina D., Milewski K., *Wypadki w transporcie drogowym towarów niebezpiecznych – analiza zdarzeń z lat 2010-2015*, Autobusy 10, 85-91, 2016.
 15. Pusty T., *Przewóz towarów niebezpiecznych – poradnik kierowcy*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2009.
 16. PN-IEC 300-3-9, *Analiza ryzyka w systemach technicznych* (nieobowiązująca).
 17. PN-I-13335-1:1999 - wersja polska, *Technika informatyczna - Wytyczne do zarządzania bezpieczeństwem systemów informatycznych - Pojęcia i modele bezpieczeństwa systemów informatycznych*.
 18. PN-EN 61882:2016-07 - wersja angielska, *Badania zagrożeń i zdolności do działania (badania HAZOP) - Przewodnik zastosowań, Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide*.
 19. PN-EN 61025:2007E, *Analiza drzewa niezdatności (FTA), Fault tree analysis (FTA)*.
 20. PN-EN 62502:2011E, *Techniki analizy niezawodności - Analiza drzewa zdarzeń (ETA), Analysis techniques for dependability - Event tree analysis (ETA)*.
 21. Szopa T., *Niezawodność i bezpieczeństwo*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
 22. Świderk N., *Kurs ADR 2015- 2017*, Wydanie 4, E-kierowca, Szczecin, 2015.

Estimating transport safety of propane-butane mixture with event and fault trees and probability methods

The threat of people as a result of delivery vehicle fire handling 11 kg and 33 kg bottles with propane-butane, due to leakage of these bottles was estimated. The probability of unsealing LPG bottles with gas during the year at loading, unloading and transport operations in carrier trade company was determined. Partial and total risk of serious driver injuries and the risk of death in the event of a fire in open load-carrying body of the car and tire damage was estimated. The risk assessment uses the methods of the event and fault tree as well as the probabilistic method.

Autorzy:

dr hab. inż. **Jacek Michalski**, prof. PRZ – Politechnika Rzeszowska, im. I. Łukasiewicza, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, 35-959 Rzeszów, Al Powstańców Warszawy 8, adres e-mail: jmichals@prz.eu.pl

JEL: L95 DOI: 10.24136/atest.2018.057

Data zgłoszenia: 2018.05.21 Data akceptacji: 2018.06.15