

dr inż. Marek Woliński<sup>a)\*</sup>, st. bryg. dr hab. Marzena Półka, prof. nadzw. SGSP<sup>a)</sup>,  
mł. bryg. dr inż. Bożena Kukfisz<sup>a)</sup>

<sup>a)</sup>Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego / The Main School of Fire Service, Faculty of Fire Safety Engineering

\*Autor korespondencyjny / Corresponding author: mwolinski@sgsp.edu.pl

## Wybuch zbiornika ze sprężonym gazem palnym jako czynnik ryzyka zawodowego strażaka

The Explosion of Tanks Containing Compressed Flammable Gas as a Risk for Firefighters at Work

Взрыв резервуара со сжатым горючим газом как фактор профессионального риска для пожарного

### ABSTRAKT

**Cel:** Artykuł podejmuje temat rozpoznania poziomu ryzyka, jakie w pracy strażaka-ratownika jest związane z wybuchem zbiornika/butli ze sprężonym gazem palnym podczas pożaru.

**Wprowadzenie:** Jednym ze zjawisk powodujących wypadki w trakcie akcji ratowniczo-gaśniczej jest wybuch. O jego skali pozwalają wnioskować dane statystyczne na temat ofiar zdarzeń związanych z wybuchami gazów technicznych: liczba poszkodowanych w wybuchach gazów technicznych w latach 2000-2014 to 48 ofiar śmiertelnych i 945 rannych, w tym 84 rannych ratowników. Rozwój gospodarczy powoduje, że w obrocie i transporcie jest coraz więcej pojemników ze sprężonymi gazami, również w postaci zbiorników na paliwa niekonwencjonalne dla samochodów. Tak więc do wybuchów będzie dochodziło i ich liczba raczej nie będzie spadać.

**Metodologia:** Ryzyko związane z prowadzeniem działań gaśniczych, podczas których pojawia się zagrożenie wybuchem zbiornika/butli sprężonego gazu palnego w środowisku pożarowym oszacowano z wykorzystaniem zapisów normy PN-N-18002:2011. Według tej normy określenie ryzyka zawodowego związanego z zagrożeniami rozpoznany na stanowiskach pracy polega na ustaleniu prawdopodobieństwa wystąpienia niekorzystnych dla zdrowia i życia pracowników następstw tych zagrożeń oraz ciężkości samych następstw. Wykorzystując jedną z metod szacunkowych – matrycę ryzyka – określono, że podczas akcji ratowniczo-gaśniczej wybuch zbiornika/butli z gazem technicznym jest „prawdopodobny”, a ciężkość skutków takiego wybuchu dla strażaka – „średnia” lub „duża”. W konsekwencji oszacowano ryzyko zawodowe strażaka związane z wybuchem zbiornika/butli ze sprężonym gazem palnym jako „średnie” lub „duże” (odpowiednio do oszacowania poziomu ciężkości skutków wybuchu).

**Wnioski:** Ryzyko średnie jest traktowane jako dopuszczalne, a ryzyko duże – jako niedopuszczalne. Oba te poziomy ryzyka zawodowego wymagają podjęcia działań umożliwiających ich obniżenie (zarówno poprzez zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia niekorzystnego zdarzenia, jakim jest wybuch zbiornika/butli ze sprężonym gazem palnym, jak i poprzez zastosowanie zabezpieczeń dla strażaka-ratownika, które pozwalają ograniczyć oddziaływanie i skutki wybuchu).

**Słowa kluczowe:** strażak, ryzyko zawodowe, wybuch zbiornika/butli ze sprężonym gazem palnym

**Typ artykułu:** artykuł przeglądowy

---

Przyjęty: 17.08.2017; Zrecenzowany: 02.10.2017; Opublikowany: 29.12.2017;

Procentowy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu: M. Woliński – 60%, M. Półka – 20%, B. Kukfisz – 20%;

Proszę cytować: BiTP Vol. 48 Issue 4, 2017, pp. 70–78, doi: 10.12845/bitp.48.4.2017.4;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

---

### ABSTRACT

**Aim:** This article explores the levels of risks faced by firefighters associated with the explosion of tanks/cylinders containing compressed flammable gases during fires.

**Introduction:** Explosions are among the causes of accidents during firefighting and rescue operations. The scale of this problem is reflected in the statistical data on the victims of incidents involving the explosion of industrial gases – the number of people injured in industrial-gas explosions between 2000 and 2014 was 945, including 84 rescuers, and the number of deaths was 48. As a result of economic growth, there are more and more containers with compressed gases, including tanks for alternative car fuels, being sold and transported. Therefore, explosions seem unavoidable, and their number is not likely to drop.

**Methodology:** The risks associated with firefighting operations involving the risk of the explosion of tanks/cylinders containing compressed flammable gases were estimated on the basis of the PN-N-18002:2011 standard. Under this standard, occupational risks associated with any identified workplace hazards can be assessed by determining the likelihood of the consequences of such hazards which can affect the life and health of personnel, and the severity of such consequences. Using risk matrix as the risk-assessment method, it was established that during firefighting and rescue operations explosions of tanks/cylinders with industrial gases are *likely*, and their consequences for firefighters are *moderate* or *serious*. On this basis, the explosion of a tank/cylinder containing compressed flammable gas, as a risk for firefighters at work, was assessed as *moderate* or *serious* (based on the severity of the explosion's consequences).

**Conclusions:** Moderate risk is treated as acceptable, while serious risk as unacceptable. Both these risk levels require the appropriate measures to be taken in order to reduce occupational-risk levels (both by reducing the likelihood of such incidents as the explosion of a tank/cylinder with a compressed flammable gas, and by using firefighter protection to cushion the effects of the explosion).

**Keywords:** firefighter, occupational risk, compressed flammable gas tank/cylinder explosion

**Type of article:** review article

Received: 17.08.2017; Reviewed: 02.10.2017; Published: 29.12.2017;

Percentage contribution: M. Woliński – 60%, M. Półka – 20%, B. Kukfisz – 20%;

Please cite as: BiTP Vol. 48 Issue 4, 2017, pp. 70–78, doi: 10.12845/bitp.48.4.2017.4;

This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

## АННОТАЦИЯ

**Цель:** Статья посвящена вопросам определения в работе пожарного-спасателя уровня риска, который связан со взрывом во время пожара резервуара/баллона со сжатым горючим газом.

**Введение:** Одним из явлений, которое становится причиной несчастных случаев во время спасательно-гасящего действия, является взрыв. Масштаб этого явления можно определить на основе статистических данных о жертвах событий, связанных со взрывами технических газов: число пострадавших в результате взрывов технических газов в 2000-2014 гг. – это 48 погибших и 945 раненых, в том числе 84 раненых спасателей. В результате экономического роста в обороте и транспорте используется все больше и больше контейнеров со сжатыми газами, в том числе в виде нетрадиционных топливных баков для автомобилей. Вследствие этого взрывы будут происходить, а их число, вероятнее всего, не будет уменьшаться.

**Методология:** Риск, связанный с проведением мероприятий по тушению пожаров, в ходе которых существует опасность взрыва резервуара/баллона с горючим сжатым газом в пожароопасной среде, оценивался с использованием стандарта PN-N-18002:2011. В соответствии с этим стандартом оценка профессионального риска, связанного с угрозами, присутствующими на рабочих местах, заключается в определении вероятности появления неблагоприятных последствий для здоровья и жизни работников и тяжести этих последствий. Используя один из методов оценки – матрицу риска – было установлено, что во время спасательно-гасящего действия взрыв резервуара с техническим газом является „вероятным“, а серьезность последствий такого взрыва для пожарного – „средняя“ или „большая“. В результате профессиональный риск пожарного, связанный со взрывом резервуара/баллона со сжатым горючим газом был оценен как „средний“ или „большой“ (в соответствии с оценкой тяжести последствий взрыва).

**Выводы:** Средний риск считается допустимым, а большой риск является недопустимым. При обоих уровнях риска необходимо принять меры, направленные на снижение уровня профессионального риска (как путем снижения вероятности появления неблагоприятного события, такого как взрыв резервуара со сжатым горючим газом, так и с помощью применения технических средств защиты пожарного, которые позволят уменьшить воздействие и последствия взрыва).

**Ключевые слова:** пожарный, профессиональный риск, взрыв резервуара со сжатым горючим газом

**Вид статьи:** обзорная статья

Принята: 17.08.2017; Рецензирована: 02.10.2017; Опубликована: 29.12.2017;

Процентное соотношение вклада в создание статьи: M. Woliński – 60%, M. Półka – 20%, B. Kukfisz – 20%;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 48 Issue 4, 2017, pp. 70–78, doi: 10.12845/bitp.48.4.2017.4;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

## Wprowadzenie

Dane statystyczne publikowane przez Państwową Straż Pożarną (PSP) [1] wskazują, że najczęściej wypadków związanych ze służbą w PSP zdarza się w trakcie zajęć sportowych, a w dalszej kolejności – podczas akcji ratowniczej, alarmu i jazdy na miejsce akcji. Najczęstsze wydarzenia powodujące te wypadki to: „połknięcie się, poślizgnięcie, utrata równowagi” (od wielu lat przodujące w statystykach), „fizyczne obciążenie dynamiczne”, „zеткиnięcie się, uderzenie, pochwycenie, przygniecenie przez czynniki

## Introduction

Statistical data published by the State Fire Service (PSP) [1] show that the majority of accidents at work in the PSP occur during sporting activities, followed by rescue operations, alarms and journeys to the locations of the incidents. Usually, these accidents involve “stumbling, slipping, losing one’s balance” (statistically the most frequent cause for many years now), “dynamic physical load”, “touching, hitting, seizing, or being crushed by physical objects in motion”. Such incidents

materialne będące w ruchu”. Wśród tych wydarzeń jest też „wybuch”, choć – co prawda – jako jedno z wydarzeń bezpośrednio powodujących najmniej wypadków (do kilku w ciągu roku). Podobne wnioski wynikają z analiz zdarzeń, które miały miejsce za granicą, a przedstawionych w [2]. Analizy te dostarczają także dokładniejszych informacji na temat ofiar zdarzeń związanych z wybuchami gazów technicznych: „(...) liczba poszkodowanych w wybuchach gazów technicznych w latach 2000-2014 to 48 ofiar śmiertelnych i 945 rannych, z czego 84 rannych ratowników”.

Rozwój gospodarczy powoduje, że w obrocie i transporcie jest coraz więcej pojemników ze sprężonymi gazami (np. z acetylenem [3]), również w postaci zbiorników na paliwa niekonwencjonalne [4]. Należy więc przypuszczać, że do wybuchów będzie dochodziło (choćby do wybuchu butli z acetylenem podczas pożaru w hali warsztatowej) [5] i że liczba tego typu zdarzeń raczej nie będzie spadać.

Niejako na marginesie warto wspomnieć, że zagrożenie mogą stwarzać nie tylko pojemniki ze sprężonymi gazami palnymi. Przyczyną śmiertelnego wypadku może być bowiem rozszczelniona wskutek wyrwania zaworu i przemieszczająca się jak pocisk butla z tlenem z zestawu spawalniczego [6] albo rozrwana wskutek ogrzewania w pożarze (aż do przekroczenia dopuszczalnego ciśnienia) gaśnica proszkowa lub śniegowa.

### Zagrożenia dla strażaka związane z wybuchem

Międzynarodowa karta charakterystyki zagrożeń zawodowych dla zawodu strażaka [7] wśród czynników mogących spowodować wypadki wymienia „ulatniające się z uszkodzonej instalacji gazowej gazy – możliwość poparzeń i urazów na skutek pożaru i eksplozji”, a wśród czynników fizycznych obciążających strażaka – „nadmierny hałas” (w przypadku wybuchu dochodzący do 160 dB [8]). Jako działania mające zapobiegać wypadkom związanym z wybuchami karta wskazuje „odpowiednie przeszkolenie i zaopatrzenie strażaków w odpowiedni sprzęt – w zależności od charakteru jednostki”. Tym odpowiednim sprzętem są m.in.: „sprzęt pomiarowy i wykrywający”, „sprzęt ochrony indywidualnej (specjalna odzież, obuwie, rękawice, hełmy – zasadnicze przedmioty środków ochrony indywidualnej, zgodnie z rozporządzeniem) [9], „sprzęt ochrony dróg oddechowych” oraz „sprzęt do podawania wody”.

Jeśli weźmie się pod uwagę to, że energia wybuchu, polegającego na gwałtownej reakcji spalania, rozprzestrzenia się w otoczeniu w postaci fali ciśnieniowej, impulsu cieplnego oraz odłamków zbiornika, w którym doszło do wybuchu, to głównymi przyczynami śmierci i obrażeń w grupie osób narażonych na działanie wybuchu (głównymi zagrożeniami dla ratowników) będą:

- działanie nadciśnienia na te części ciała, w których znajduje się powietrze – środowisko rozprzestrzeniania się fali ciśnieniowej, a więc na: drogi oddechowe i płuca; przewód pokarmowy oraz ucho zewnętrzne, środkowe i wewnętrzne;
- działanie impulsu cieplnego na organizm;

also include “explosions”, but, admittedly, they are the direct cause of the lowest number of accidents (no more than a few a year). The analysis of international incidents, as presented in [2], point to similar conclusions. In addition, the analysis provides more detailed information about the victims of incidents involving the explosion of industrial gases – “(...) the number of people injured in industrial-gas explosions between 2000 and 2014 was 945, including 84 rescuers, and the number of deaths was 48”.

As a result of economic growth, there are more and more containers with compressed gases (such as acetylene [3]), including tanks for alternative car fuels [4], being sold and transported. Therefore, it can be assumed that explosions (such as explosions of acetylene cylinders during fires in workshops) will continue to occur [5], and the number of such accidents is not likely to drop.

Incidentally, it is important to note that not only tanks with compressed flammable gases can pose risks. Fatal accidents can also be caused by a valve being torn out of an oxygen cylinder in a welding set [6], leading to a leak and turning the cylinder into a projectile, or by the bursting of dry powder or carbon-dioxide extinguishers caused by their warming in a fire (until they exceed their maximum pressure).

### Explosion-related risks for firefighters

The factors that might lead to accidents, as listed in the International Hazard Datasheet on Occupation for firefighters [7], include “gas leaks from damaged gas pipework – possible burns and injuries caused by fire or explosion”, and the physical hazards faced by firefighters include “excessive noise” (up to 160 dB [8] in the event of an explosion). Measures intended to prevent explosion-related accidents, as referred to in the Datasheet, are “appropriate training and equipment – depending on the unit’s profile”. Such appropriate equipment includes “measurement” and “personal protective equipment” (special clothing, footwear, gloves, helmets – basic personal protective equipment, as referred to in Regulation [9]), “breathing apparatus” and “water-supply equipment”.

Given that the energy of an explosion involving rapid combustion, spreading as a pressure wave, heat pulse and pieces of the container which exploded, the primary causes of death and injury among people exposed to the explosion (the main risks for rescuers) are:

- exposure to excessive pressure of those body parts which contain air, which are affected by the pressure wave, i.e., airways and lungs, alimentary tract and the outer, middle and inner ears,
- the effects of the heat pulse on the body;
- the whole body’s being moved by the blast/pressure wave and hitting a hard surface with the head or other body part;
- being hit by a fragment of the exploding container.

- przemieszczenie się całego ciała człowieka pod wpływem podmuchu/fali ciśnieniowej i uderzenie w twardą powierzchnię głową lub inną częścią ciała;
- uderzenie odłamkiem.

Wymieniony wcześniej sprzęt ochrony indywidualnej tylko w niewielkim stopniu może zabezpieczać przed skutkami wybuchu (specjalna odzież ma stanowić barierę przed działaniem promieniowania ciepłego, hełm zaś – zabezpieczać przed skutkami uderzenia w głowę; można się jednak obawiać, że podmuch/fala ciśnieniowa pozbawi ratownika tych elementów wyposażenia). Ponadto sprzęt ten nie będzie skutecznie chronił ciała ratownika przed odłamkami (ryc. 1) ani samych oczu przed gwałtownym rozbłyskiem promieniowania świetlnego podczas wybuchu (ryc. 2). Tego typu zagrożenia były wyraźnie widoczne w trakcie badań prowadzonych w skali rzeczywistej (badania poligonowe) w ramach projektu nr DOB-BIO6/02/50/2014 pt. „Opracowanie metod neutralizacji zagrożenia wybuchu wytypowanych zbiorników z gazami technicznymi, w tym alternatywnymi źródłami zasilania w środowisku pożarowym na potrzeby ratowników biorących udział w akcjach ratowniczo-gaśniczych”. Poniższe ilustracje pochodzą właśnie z tych badań.

Personal protective equipment, as referred to above, provides little protection against the consequences of explosions (special clothing is designed to provide protection against heat, and the helmet against the effects of being hit in the head; but a blast/pressure wave is likely to strip these pieces of equipment off firefighters). Moreover, the equipment will not provide effective protection to a rescuer's body against fragments of the exploding container (Fig. 1), nor to their eyes against the sudden flash which accompanies explosions (Fig. 2). These risks were clearly apparent during a study conducted in a real-life environment (on a training ground) as part of Project No. DOB-BIO6/02/50/2014 entitled “Developing methods for dealing with the risk of the explosion of selected containers with industrial gases, including alternative fuels, in a fire environment, for the purposes of rescuers' taking part in firefighting and rescue operations”. The pictures below were taken during that study.



**Rycina 1.** Odłamki po wybuchu butli ze sprężonym gazem: a) armatura przyłączeniowa i zawory, b) fragmenty butli, c) płaszcz butli

**Figure 1.** The fragments of a cylinder with compressed gas following its explosion: a) valves and gauges, b) cylinder fragments, c) cylinder jacket

**Źródło:** Opracowanie własne.

**Source:** Own elaboration.





**Rycina 2.** Wybuch butli acetylenowej ogrzewanej w pożarze  
**Figure 2.** The explosion of acetylene cylinder heated in a fire  
**Źródło:** Opracowanie własne.

**Source:** Own elaboration.

## Ocena ryzyka

Ryzyko związane z prowadzeniem działań gaśniczych, podczas których występuje zagrożenie wybuchem zbiornika/butli gazu w środowisku pożarowym można oszacować, korzystając z zapisów normy [10]. Według niej „(...) oszacowanie ryzyka zawodowego związanego z zagrożeniami zidentyfikowanymi na stanowiskach pracy polega na ustaleniu:

- prawdopodobieństwa wystąpienia niekorzystnych dla zdrowia i życia pracowników następstw tych zagrożeń,
- ciężkości tych następstw”.

## Risk assessment

The risks associated with firefighting operations involving the risk of the explosion of tanks/cylinders containing compressed flammable gases can be assessed on the basis of the standard [10]. Under this standard, “(...) occupational risks associated with any identified workplace hazards can be assessed by determining

- the likelihood of the consequences of such hazards which can affect the life or health of the personnel, and
- the severity of such consequences”.

W zależności od występujących zagrożeń do oszacowania i wartościowania ryzyka zawodowego można stosować metody szacunkowe oraz metody zaawansowane.

Ze względu na specyfikę problemu oraz dostępne dane dotyczące zdarzeń i ich skutków (omówione wcześniej) do oceny ryzyka zawodowego związanego z działaniami ratowniczo-gaśniczymi, podczas których może dojść do wybuchu zbiornika/butli z gazem technicznym, wykorzystano przywołaną w normie [10] jedną z metod szacunkowych: macierz ryzyka. Według niej ryzyko zawodowe określa się na podstawie wzoru:

$$R = P \cdot S \quad (1)$$

gdzie:

$R$  – wskaźnik ryzyka,

$P$  – wskaźnik częstości lub prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia,

$S$  – wskaźnik ciężkości następstw zdarzenia.

Ryzyko może być tu szacowane w skali trzy- lub pięciostopniowej – w zależności od tego, jak ciężkie są warunki na konkretnym stanowisku pracy. W obu tych skalach mamy 1) trzy kategorie wskaźnika prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia ( $P$ ), zgodnie z którymi zdarzenie to może być: mało prawdopodobne, prawdopodobne albo bardzo prawdopodobne, oraz 2) trzy kategorie wskaźnika ciężkości następstw zdarzenia ( $S$ ), zgodnie z którymi ciężkość ta może być: mała, średnia albo duża. Skala trzystopniowa obejmuje: ryzyko małe (dla  $S$ : mała i  $P$ : mało prawdopodobne), ryzyko średnie i ryzyko duże (dla  $S$ : duża i  $P$ : bardzo prawdopodobne), natomiast skala pięciostopniowa – ryzyko bardzo małe (dla  $S$ : mała i  $P$ : bardzo prawdopodobne), ryzyko małe, ryzyko średnie, ryzyko duże i ryzyko bardzo duże (dla  $S$ : duża i  $P$ : bardzo prawdopodobne).

Wskaźnik prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia określający dane zdarzenie jako (wg [10]):

- mało prawdopodobne oznacza takie jego skutki, które nie powinny wystąpić podczas całego okresu aktywności zawodowej pracownika;
- prawdopodobne oznacza takie jego skutki, które mogą wystąpić nie więcej niż kilkakrotnie podczas całego okresu aktywności zawodowej pracownika;
- bardzo prawdopodobne oznacza takie jego skutki, które mogą wystąpić wielokrotnie podczas całego okresu aktywności zawodowej pracownika.

Wskaźnik ciężkości następstw zdarzenia określający tę ciężkość jako (wg [10]):

- małą oznacza urazy i choroby, które nie powodują długotrwałych dolegliwości i absencji w pracy (są to np.: niewielkie zranienia i stłuczenia, podrażnienia oczu, bóle głowy);
- średnią oznacza urazy i choroby, które powodują niewielkie, ale długotrwałe i okresowo nawracające dolegliwości oraz wiążą się z okresami absencji w pracy (są to np.: zranienia, oparzenia II stopnia na niewielkiej powierzchni ciała, nieskomplikowane złamania);
- dużą oznacza urazy i choroby, które powodują ciężkie i stałe dolegliwości lub/i śmierć osoby poszkodowanej (są to np.: oparzenia III stopnia, oparzenia II stopnia na dużej powierzchni ciała, amputacje, skomplikowane złamania, zawodowe uszkodzenia słuchu).

Depending on the risks, occupational-risk assessment and evaluation can be carried out using estimates or advanced methods.

Due to the nature of the problem and the available data on the incidents and their consequences (as discussed above), in the assessment of the occupational risks associated with fire-fighting and rescue operations which might involve explosions of tanks/cylinders with industrial gases we used risk matrix, an estimation method referred to in the standard [10]. The matrix assesses occupational risk according to the formula

$$R = P \cdot S \quad (1)$$

where:

$R$  – risk level,

$P$  – frequency or likelihood of incident,

$S$  – severity of incident consequences.

Risk can be assessed on the basis of a three- or five-point scale, depending on the difficulty of the specific working conditions. In both scales there are 1) three degrees of likelihood of an incident ( $P$ ); that is – unlikely, likely, and very likely, and 2) three degrees of severity of the incident's consequences ( $S$ ); that is – low, moderate and high. The three-point scale includes low risk ( $S$  = low, and  $P$  = unlikely), moderate risk and high risk ( $S$  = high, and  $P$  = very likely), and the five-point scale distinguishes between negligible risk ( $S$  = low, and  $P$  = very likely), low risk, moderate risk, considerable risk, and serious risk ( $S$  = high, and  $P$  = very likely).

The likelihood of an incident, describing the incident (according to [10]) as:

- unlikely refers to the consequences which should not occur throughout an employee's career;
- likely refers to the consequences which might occur not more than a few times throughout an employee's career;
- very likely refers to the consequences which might occur many times throughout an employee's career;

The severity of incident consequences describes severity (according to [10]) as:

- low refers to the injuries and disorders which do not cause long-term complaints or absence from work (these include minor wounds and bruises, eye irritation, and headaches);
- moderate refers to the injuries and disorders which cause minor but long-term and recurring complaints, and are associated with periods of absence from work (these include wounds, 2nd-degree burns of small parts of the body, and simple fractures);
- high refers to the injuries and disorders which cause serious and chronic complaints and/or death (these include 3rd-degree burns, 2nd-degree burns of large parts of the body, amputations, compound fractures, and occupational hearing loss).

The method for occupational-risk assessment (using the three- and five-point scales) and evaluation is described below. THREE-POINT SCALE (according to [10])

- High risk – unacceptable. If the occupational risk is associated with ongoing work, corrective measures are

Sposób szacowania ryzyka zawodowego (w skali trzy- i pięciostopniowej) oraz sposób oceny jego dopuszczalności pokazano poniżej:

### SKALA TRZYSTOPNIOWA (wg [10])

- Ryzyko duże – niedopuszczalne. Jeżeli ryzyko zawodowe jest związane z pracą już wykonywaną, niezbędne działania naprawcze w celu jego zmniejszenia należy podjąć natychmiast (np. przez zastosowanie środków ochronnych). Planowana praca nie może być rozpoczęta do czasu zmniejszenia ryzyka zawodowego do poziomu dopuszczalnego.
- Ryzyko średnie – dopuszczalne. W takiej sytuacji zaleca się zaplanowanie i podjęcie działań mających na celu zmniejszenie ryzyka zawodowego.
- Ryzyko małe – dopuszczalne. W tym przypadku konieczne jest podjęcie działań zapewniających utrzymanie ryzyka co najwyżej na tym samym poziomie.

### SKALA PIĘCIOSTOPNIOWA (wg [10])

- Ryzyko bardzo duże – niedopuszczalne. W takiej sytuacji pracy nie można rozpocząć ani kontynuować do czasu, kiedy ryzyko zawodowe zostanie zmniejszone do poziomu dopuszczalnego.
- Ryzyko duże – niedopuszczalne. Gdy ryzyko to dotyczy pracy już wykonywanej, działania naprawcze w celu zmniejszenia jego poziomu należy podjąć natychmiast (np. przez zastosowanie środków ochronnych). Natomiast pracy planowanej nie można rozpocząć do czasu zmniejszenia ryzyka zawodowego do poziomu dopuszczalnego.
- Ryzyko średnie – dopuszczalne. W tym przypadku zalecane jest zaplanowanie i podjęcie działań skutkujących zmniejszeniem ryzyka zawodowego.
- Ryzyko małe – dopuszczalne. W tej sytuacji zalecane jest rozważenie możliwości dalszego zmniejszania ryzyka zawodowego albo podjęcie takich działań, które zapewnią utrzymanie ryzyka zawodowego co najwyżej na tym samym poziomie.
- Ryzyko bardzo małe – dopuszczalne. W tym przypadku nie ma potrzeby wprowadzania jakichkolwiek działań korygujących.

Biorąc pod uwagę: 1) powyższe wyjaśnienia dotyczące szacowania prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia albo zdarzenia niekorzystnego, 2) wyjaśnienia dotyczące szacowania ciężkości skutków zagrożenia albo zdarzenia niekorzystnego, 3) przytoczone wcześniej dane statystyczne na temat wybuchów zbiorników/butli z gazem technicznym podczas akcji ratowniczo-gaśniczych, a także 4) informacje o oddziaływaniu wybuchu na organizm człowieka, można określić:

- wystąpienie wybuchu zbiornika/butli z gazem technicznym podczas akcji ratowniczo-gaśniczej jako **prawdopodobne**,
- ciężkość skutków takiego wybuchu jako **średnią** lub **dużą**.

Wtedy, zarówno dla trzy-, jak i dla pięciostopniowej skali ryzyka, ryzyko zawodowe strażaka związane z wybuchem zbiornika/butli ze sprężonym gazem palnym określa się jako **średnie** lub **duże** (odpowiednio do poziomu ciężkości skutków). Zarówno w skali trzy-, jak i pięciostopniowej **ryzyko średnie** jest traktowane jako **dopuszczalne**, a **ryzyko duże** – jako **niedopuszczalne**.

W przypadku obu tych poziomów ryzyka zawodowego niezbędne są działania umożliwiające ich obniżenie (zarówno poprzez

required to reduce it immediately (e.g., by using protective equipment). No scheduled work may be commenced until the occupational risk is reduced to an acceptable level.

- Moderate risk – acceptable. In such situations it is recommended that special measures be provided for and undertaken to reduce occupational risk.
- Low risk – acceptable. It is necessary to take action to prevent the risk from escalating.

### FIVE-POINT SCALE (according to [10])

- Serious risk – unacceptable. In such situations no work may be commenced or continued until the occupational risk is reduced to an acceptable level.
- Considerable risk – unacceptable. If such occupational risk is associated with ongoing work, corrective measures are required to reduce it immediately (e.g., by using protective equipment). No scheduled work may be commenced until the occupational risk is reduced to an acceptable level.
- Moderate risk – acceptable. It is recommended that special measures be provided for and undertaken to reduce occupational risk.
- Low risk – acceptable. In such situations it is recommended that possible ways of further reducing occupational risk be considered, or special measures be taken to prevent the risk from escalating.
- Negligible risk – acceptable. There is no need for any corrective measures.

Given the above-mentioned explanations concerning the assessment of the likelihood of risks or incidents, explanations regarding the severity of risk or incident consequences, the cited statistical data on the explosions of tanks/cylinders with industrial gases during firefighting and rescue operations, and the information about the impact of explosion on the human body

- the explosion of a tank/cylinder with industrial gas during firefighting and rescue operations can be considered **likely**,
- the severity of its consequences can be considered **moderate** or **high**.

Consequently, on both the three- and five-point scales, the occupational risk associated with the explosion of a tank/cylinder containing compressed flammable gas can be considered **moderate** or **serious** (based on the severity of the explosion's consequences). Both scales treat **moderate risk** as **acceptable** and **serious risk** as **unacceptable**.

Both these occupational-risk levels require the appropriate action to be taken in order to reduce these levels (both by reducing the likelihood of such incidents as the explosion of a tank/cylinder with a compressed flammable gas, and by using firefighter protection to cushion the effects of the explosion).

## Summary and conclusions

Using risk matrix, an estimation method for the assessment of the occupational risks associated with firefighting and rescue operations which might involve explosions of tanks/cylinders

zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia niekorzystnego zdarzenia, jakim jest wybuch zbiornika/butli z gazem technicznym, jak i poprzez zastosowanie zabezpieczeń dla strażaka-ratownika, które pozwalają ograniczyć oddziaływanie i skutki wybuchu).

## Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie jednej z metod szacunkowych – matrycy ryzyka – do oceny ryzyka zawodowego związanego z działaniami ratowniczo-gaśniczymi, podczas których może dojść do wybuchu zbiornika/butli z gazem technicznym, pozwoliło na określenie tego ryzyka na poziomie średnim lub dużym. Ryzyko duże traktowane jest jako niedopuszczalne, jednakże oba te poziomy ryzyka wymagają podjęcia niezbędnych działań naprawczych. W przypadku ryzyka dużego towarzyszącego już wykonywanej pracy działania powinno się podjąć natychmiast (przez zastosowanie środków ochronnych), a w przypadku ryzyka średniego należy je tak zaplanować i podjąć, żeby rzeczywiście skutkowały jego zmniejszeniem się.

Jak wykazały badania poligonowe przeprowadzone w 2016 r. w ramach projektu nr DOB-BIO6/02/50/2014, możliwe jest opracowanie skutecznych środków ochronnych – osłon zabezpieczających strażaków-ratowników przed skutkami wybuchu zbiornika/butli ze sprężonym palnym gazem. Bardziej szczegółowe informacje dotyczące tych osłon zostaną upowszechnione po zakończeniu i podsumowaniu wyników projektu.

Badanie zrealizowane w ramach projektu rozwojowego nr DOB-BIO6/02/50/2014 pt. Opracowanie metod neutralizacji zagrożenia wybuchu wytypowanych zbiorników z gazami technicznymi, w tym alternatywnymi źródłami zasilania w środowisku pożarowym na potrzeby ratowników biorących udział w akcjach ratowniczo-gaśniczych, finansowanego przez Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR).

with industrial gases, the risk was assessed as moderate or high. High risk is considered unacceptable, but both these levels require the appropriate corrective measures. For high risks associated with ongoing work, such measures should be taken immediately (by using protective equipment), and for moderate risk, such measures need to be provided for and undertaken to actually reduce occupational risk.

As shown in a training-ground study conducted in 2016 as part of Project No. DOB-BIO6/02/50/2014, effective protective measures, such as shields, can be developed to protect firefighters against the consequences of explosions of tanks/cylinders with compressed flammable gases. More detailed information about such shields will be disclosed following the completion of the project and the summary of its findings.

This study was conducted under development project No. DOB-BIO6/02/50/2014 entitled Developing methods for dealing with the risk of the explosion of selected containers with industrial gases, including alternative fuels, in a fire environment, for the purposes of rescuers' taking part in firefighting and rescue operations, financed by the National Centre for Research and Development (NCBiR).

## Literatura / Literature

- [1] Biuletyny informacyjne Państwowej Straży Pożarnej, [www.straz.gov.pl/aktualnosci/biuletyny](http://www.straz.gov.pl/aktualnosci/biuletyny) [dostęp: 17.03.2017].
- [2] Analiza danych statystycznych PSP w zakresie wybuchów zbiorników z gazami technicznymi w Polsce w latach 2000-2014 w ramach zadania nr 2 projektu DOB-BIO6/02/50/2014, Józefów, czerwiec 2015 (materiały niepublikowane).
- [3] Półka M., Kukfisz B., *Zagrożenia związane z zastosowaniem, magazynowaniem oraz transportem acetyleny*, „Logistyka” 2015, 5, 1279–1286.
- [4] Woliński M., *Zagrożenia przy stosowaniu silnikowych paliw alternatywnych*, „Logistyka” 2015, 5, 1651-1654.
- [5] [www.newslubuski.pl/interwencje/item/2337-pozar-w-plotach](http://www.newslubuski.pl/interwencje/item/2337-pozar-w-plotach) [dostęp: 1.02.2017].
- [6] [kontakt24.tvn24.pl/rozszczelniona-butla-tlenowa-uderzyła-pracownika-26-latek-zginął-na-miejscu,223347.html](http://kontakt24.tvn24.pl/rozszczelniona-butla-tlenowa-uderzyła-pracownika-26-latek-zginął-na-miejscu,223347.html) [dostęp: 6.02.2017].
- [7] Międzynarodowa karta charakterystyki zagrożeń zawodowych dla zawodu strażaka, [www.ciop.pl](http://www.ciop.pl) [dostęp: 1.06.2016].
- [8] Korenkiewicz I., *Narażenie zawodowe funkcjonariuszy Państwowej Straży Pożarnej*, Państwowa Inspekcja Sanitarna MSWiA, Białystok 2004.
- [9] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 30 listopada 2015 r. w sprawie umundurowania strażaków Państwowej Straży Pożarnej (Dz. U. z 2006 r. Nr 4, poz. 25 z późn. zm.).
- [10] PN-N-18002:2011: Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Ogólne wytyczne do oceny ryzyka zawodowego.



**DR INŻ. MAREK WOLIŃSKI** – w 1981 roku ukończył Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej, na którym w 1987 roku uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie i pełni obowiązki kierownika Zakładu Analiz i Rozpoznawania Zagrożeń w Katedrze Bezpieczeństwa Budowli i Rozpoznawania Zagrożeń tej szkoły. Jest autorem ponad 80 publikacji oraz opiekunem ponad 260 prac dyplomowych i końcowych.

**ST. BRYG. DR HAB. MARZENA PÓŁKA, PROF. NADZW. SGSP** – w 1992 roku ukończyła studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego. Jest profesorem w Zakładzie Teorii Procesów Spalania i Wybuchu Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. W swojej pracy naukowej zajmuje się procesami spalania materiałów polimerowych i ich modyfikacją przeciwogniową.

**ML. BRYG. DR INŻ. BOŻENA KUKFISZ** – w 2005 roku ukończyła studia na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, a w 2006 roku – studia na Wydziale Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. W 2013 roku uzyskała stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska. Jest kierownikiem Zakładu Teorii Procesów Spalania i Wybuchu Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Zajmuje się badaniem reakcji materiałów budowlanych i wyposażenia wewnątrz na ogień, oznaczaniem parametrów pożarowych i wybuchowych par cieczy/gazów palnych i pyłów z powietrzem.

**MAREK WOLIŃSKI, PH.D. ENG.** – in 1981 graduated from the Faculty of Power and Aeronautical Engineering at the Warsaw University of Technology, where in 1987 he obtained the Degree of PhD in Technical Sciences. He now works as an Assistant Professor at the Main School of the Fire Service (SGSP) in Warsaw, and serves as the Head of the School's Risk-Identification and Analysis Institute at the Department of Building Safety and Risk Identification. He has authored more than 80 publications and supervised 260 final and diploma theses.

**SENIOR BRIGADIER, MARZENA PÓŁKA, PH.D., SGSP PROFESSOR** – in 1992 she graduated from the Faculty of Chemistry at the University of Warsaw. She works as a Professor at the Combustion and Explosion Processes Theory Institute, the Main School of the Fire Service, in Warsaw. In her academic work, she focuses on polymer-combustion processes and the modifications of polymer materials.

**JUNIOR BRIGADIER, BOŻENA KUKFISZ, PH.D. ENG.** – in 2005 she graduated from the Faculty of Fire Safety Engineering, the Main School of the Fire Service in Warsaw, and in 2006 from the Faculty of New Technologies and Chemistry, the Military University of Technology in Warsaw. In 2013 she obtained the Degree of PhD in Technical Sciences, Environmental Engineering. She works as the Head of the Combustion and Explosion Processes Theory Institute, the Main School of the Fire Service in Warsaw. She studies the effects of fire on construction and interior materials, and establishes the fire- and explosion-related characteristics of vapours/liquids/flammable gases and airborne dust.



Ministerstwo Nauki  
i Szkolnictwa Wyższego

Artykuł został przetłumaczony ze środków MNiSW w ramach zadania: Stworzenie anglojęzycznych wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” – typ zadania: stworzenie anglojęzycznych wersji wydawanych publikacji finansowane w ramach umowy 935/P-DUN/2016 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.