

mł. bryg. mgr inż. **Robert Mazur**¹
mł. bryg. dr inż. **Rafał Porowski**²
mł. bryg. mgr inż. **Wojciech Klapsa**³

Przyjęty/Accepted/Принята: 19.05.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 05.10.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Wybuchy zbiorników z gazami technicznymi – realne zagrożenie czy przejawiony strach?⁴

Tank Explosions Involving Industrial Gases – a Real Threat or an Exaggerated Fear?

Взрывы резервуаров с техническими газами – реальная угроза или преувеличение?

ABSTRAKT

Cel: Artykuł stanowi wprowadzenie do problematyki wybranych gazów technicznych, takich jak wodór, acetylen, metan (gaz ziemny) i propan-butan (LPG). Przedstawiono w nim analizę i charakterystykę zagrożeń związanych z omawianymi gazami. Rozważania przeprowadzono na podstawie dostępnych statystyk z interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej oraz innych dostępnych źródeł danych.

Wprowadzenie: Szerokie spektrum zastosowania gazów technicznych pociąga za sobą wzrost ich popularności na rynku przemysłowym, technicznym i naukowym, co z kolei niesie ze sobą szereg niebezpieczeństw. Niniejszy artykuł stanowi wprowadzenie do problematyki poprzez charakterystykę ogólną właściwości wybranych gazów, algorytmów zdarzeń związanych z ich uwolnieniem (Jet Fire, BLEVE, FireBall, wybuchy UVCE, VCE). W głównej mierze publikacja poświęcona jest analizie wyników badań statystycznych, w oparciu o dostępne źródła danych krajowe (liczba interwencji, rodzaj wybuchów, uszkodzeni, kategoria urazów związanych z zarejestrowaną obecnością gazów lub wybuchami) i międzynarodowe. Artykuł powstał na podstawie wyników badań otrzymanych podczas realizacji jednego z tematów projektu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju pn. „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”.

Metodologia: W publikacji można wyróżnić trzy zasadnicze części. W pierwszej autorzy wprowadzają czytelnika do problematyki gazów technicznych w sensie ich właściwości i potencjalnych zagrożeń. Część druga poświęcona jest charakterystyce wyników badań przeprowadzonych na bazie informacji ze zdarzeń z interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej w latach 2000-2014, zaś trzecia przedstawia wyniki badań przeprowadzone w oparciu o inne dostępne, międzynarodowe źródła danych.

Wnioski: Wnioski z badań skupiają się w głównej mierze na uwypukleniu najistotniejszych elementów związanych z analizą zagrożeń dot. gazów technicznych oraz analizą danych statystycznych. W pierwszej części podsumowania zwrócono uwagę na właściwości pożarowo-wybuchowe gazów oraz rodzaj zagrożeń, jakie generują (promieniowanie ciepłe, pożar strumieniowy – Jet Fire, wybuchy w przestrzeni ograniczonej i nieograniczonej – UVCE, VCE). W drugiej części podsumowania zwrócono uwagę na zasadność modyfikacji mechanizmów pozyskiwania, udostępniania i analizy danych statystycznych z interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej. Ponadto podkreślono częstotliwość interwencji, w których zarejestrowano obecność i wybuchy gazów technicznych, liczbę uszkodzonych wraz z najczęstszymi rodzajami urazów.

Słowa kluczowe: gazy techniczne, wybuchy butli, butle z gazami, statystyka wybuchów

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

The aim: This paper is an introduction to the subject of industrial gases such as hydrogen, acetylene, methane (natural gas) and propane-butane (LPG). It includes the analysis and characteristics of threats associated with the said gases. The deliberations are based on available statistical data on firefighting unit interventions and other available data sources.

Introduction: On the one hand the wide spectrum of the application of industrial gases enhances their popularity on industrial, technical and scientific markets, but on the other hand it is associated with a wide range of threats. This paper is a form of introduction to the subject covering the gases' properties and the event-tree related to such industrial-gas release as Jet Fire, BLEVE, FireBall, Unconfined Vapour Cloud Explosions, and

¹ Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej / The Main Headquarters of the State Fire Service in Poland;

² Szkoła Główna Służby Pożarniczej / The Main School of Fire Service; rporowski@sgsp.edu.pl;

³ Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy / The Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Poland;

⁴ Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

Vapour Cloud Explosions. However, the main goal of the paper is to publicise the findings on statistical research on hydrogen, acetylene, natural gas, and propane-butane, based on the Polish Incident Reporting System (industrial gases presence and their explosions, the type of explosions, the number of injured, the victims, and the types of injury) and also international databases. The paper is in the form of a report on scientific research – “The establishment of ways to neutralise the threat of the explosion of selected containers containing industrial gases, including alternative energy sources in the fire environment, for rescuers taking part in firefighting activities” funded by The National Centre for Research and Development.

Methodology: The paper includes three logical parts. The first is an introduction to the subject of industrial gases in terms of their properties and potential threats. The second part is focused on the main findings from statistical research based on the Polish Incidents Reporting System (2000–2014), while the third is based on international database research related to industrial gases.

Conclusions: The general conclusions on threats characteristics and statistical analysis are highlighted. The first part of the summary is focused on the most important aspect of threats like thermal radiation, JetFire, Unconfined Vapour Cloud Explosions, Vapour Cloud Explosions. The second part emphasises the general needs of changing the Incident Reporting System mechanism (involved with the industrial gases aspect too), and also the methods of acquisition and sharing data. Regarding the statistics, the frequency of State-Fire-Service incidents involving the presence of industrial gases and their explosions, the type of explosions, the number of injured, the victims and types of injury, are brought out.

Keywords: industrial gases, cylinder explosion, cylinder with gas, statistics of explosions

Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Введение в проблематику некоторых технических газов, таких как водород, ацетилен, метан (природный газ), пропан-бутан (LPG). Анализ этих газов и характеристика угроз, которые проведены на основе имеющихся статистик из действий подразделений пожарной службы, а также других имеющихся источников данных.

Введение: Широкий диапазон применения технических газов влияет на то, что они становятся все более популярны на промышленном, техническом и научном рынках. Это в свою очередь вызывает ряд опасностей. Данная статья представляет собой введение в проблематику технических газов, заключающееся в общей характеристике качеств некоторых газов и алгоритмов событий, связанных с их выбросом (Jet Fire, BLEVE, Fireball, взрывы UVCE, VCE). В основном статья была посвящена анализу результатов статистических исследований, основанных на имеющихся источниках данных: национальных (количество действий, тип взрывов, раненные, категория травм, связанных с зафиксированным наличием газов или взрывами) и международных. Статья основана на результатах, полученных в ходе реализации одной из тем проекта NCBR под названием: „Разработка методов нейтрализации угрозы взрыва некоторых резервуаров с техническими газами, в том числе альтернативными источниками питания в пожарной среде на благо спасателей, участвующих в спасательно-гасящих действиях”.

Методология: В статье можно выделить три основные части. В первой авторы знакомят читателя с вопросом технических газов с точки зрения их свойств и связанных с ними потенциальных угроз. Вторая часть посвящена характеристике результатов испытаний, проведенных на основе информации о действиях подразделений пожарных служб в 2000–2014 г.г., а третья представляет результаты исследований, проведенных на основе других имеющихся международных источников данных.

Выводы: Выводы из исследований были сосредоточены в основном на выделении наиболее важных элементов, связанных с анализом угроз, касающихся технических газов и анализом статистических данных. В первой части заключения было обращено внимание на пожарные и взрывные свойства газов и тип угроз, которые они вызывают (тепловое излучение, струйный пожар – Jet Fire, взрывы в ограниченном и неограниченном пространстве – UVCE, VCE). Во второй части заключения подчеркивается законность модификации механизмов сбора, распределения и анализа статистических данных о действиях подразделений пожарной службы. Кроме того, было обращено внимание на частоту действий, в которых было зарегистрировано наличие газов и взрывы технических газов, число раненых с указанием наиболее частых типов травм.

Ключевые слова: технические газы, взрывы баллонов, баллон с газом, статистика взрывов

Вид статьи: обзорная статья

1. Wprowadzenie

Gazy techniczne (GT) są to gazy lub mieszaniny gazów mające różnorodne zastosowanie w warunkach przemysłowych oraz w badaniach naukowych. Ich użycie staje się z roku na rok coraz bardziej powszechne. Należą do nich m.in.: acetylen, amoniak, argon, dwutlenek węgla, metan, hel, sprężone powietrze, tlen, tlenek węgla, wodór, propan-butane oraz gazy spawalnicze. Właściwości fizykochemiczne tych gazów sprawiają, że pod wpływem niewłaściwego użytkowania lub niekorzystnych warunków magazynowania (np. pożaru w pomieszczeniu z butlami), mogą one wywołać poważne zagrożenia. Większość gazów technicznych stanowią gazy palne klasyfikowane jako materiały skrajnie łatwopalne (R12⁵, H220⁶), które w połączeniu z powietrzem tworzą mieszaniny wybuchowe lub gwałtownie spalają się w postaci pożarów nagłych (Flash Fire) lub strumieniowych (Jet Fire). Magazynowanie gazów w zbiornikach ciśnieniowych niesie za sobą zagrożenie rozerwania zbiornika pod wpływem zwiększają-

1. Introduction

Industrial gases are gases or mixtures of gases which can be used in various ways for industrial or scientific research purposes. The use of such gases is becoming more and more widespread. Among the industrial gases we can identify: acetylene, ammonia, argon, carbon dioxide, methane and helium, compressed air, oxygen, carbon monoxide, hydrogen, propane-butane and welding gases. Due to their physicochemical properties, they pose a real threat in cases of their misuse or adverse conditions while storing, for example a fire in the room in which the gas cylinders are stored. Most industrial gases are flammable gases, classified as extremely flammable (R12¹, H220²) which, in combination with air, create explosive mixtures or combust instantly in the form of a flash fire or a jet fire. The storage of gases in pressure vessels poses a risk of the tank's rupturing, due to the increase in internal pressure, leading to a physical explosion. From the viewpoint of

⁵ Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie kryteriów i sposobu klasyfikacji substancji chemicznych i ich mieszanin.

⁶ Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008.

¹ The Regulation of the Ministry of Health of 10 August 2012 on the criteria for and classification of chemical substances and their mixtures.

² Regulation of the European Parliament and of the Council No. 1272/2008.

cego się ciśnienia wewnętrznego, czyli wystąpienia wybuchu fizycznego. Z punktu widzenia prowadzenia akcji ratowniczo-gaśniczej ważna jest również wiedza na temat gęstości gazu względem powietrza, która determinuje sposób dyspersji w powietrzu.

Mając na uwadze powyższe, na lata 2014-2017 konsorcjum złożone ze Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowego Instytutu Badawczego, Politechniki Gdańskiej, Politechniki Warszawskiej oraz firmy Corona zaplanowało realizację projektu badawczego 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”. Głównym celem projektu jest opracowanie zabezpieczeń dla ratowników biorących udział w działaniach ratowniczo-gaśniczych z udziałem gazów technicznych.

Analiza wybranych pozycji literaturowych wykazała, że w ostatnich latach coraz częściej zwraca się uwagę na zagrożenia, jakie stwarzają palne gazy techniczne przechowywane w butlach oraz na prawidłowy sposób obchodzenia się z nimi podczas pożarów. Na uwagę zasługuje pozycja *Postępowanie podczas zdarzeń z udziałem butli acetylenowych poddanych działaniu ognia, ciepła lub wielokrotnym uderzeniom* autorstwa T. Jopka [1]. Niemniej jednak szczegółowe standardy postępowania ratowników z butlami z gazami technicznymi jak dotąd opracowano jedynie dla butli acetylenowych [2].

Na potrzeby realizacji projektu przeprowadzono badania statystyk zdarzeń z udziałem gazów technicznych, jak również analizę zagrożeń wynikających z ich użytkowania, magazynowania lub transportu. Niniejszy artykuł jest próbą przedstawienia najistotniejszych wyników badań zamieszczonych w sprawozdaniu [25], a także pierwszym z cyklu dwóch artykułów poruszających problematykę zagrożeń powodowanych przez GT. W artykule skoncentrowano się głównie na podkreśleniu skali zagrożeń stwarzanych przez butle (zbiorniki) z gazami technicznymi.

Z analizy informacji ze zdarzeń jednostek ochrony przeciwpożarowej wynika, że rocznie podejmowanych jest ok. 391 tys. interwencji (średnia za lata 2000-2014), z czego liczba miejscowych zagrożeń kształtuje się średnio na poziomie ok. 234 tys., a pożarów 157 tys. [9-10]. W badanym okresie odnotowano ok. 32 tys. interwencji, w których zarejestrowano obecność gazów technicznych, z czego w przypadku blisko 3,1 tys. z nich odnotowano wybuchy gazów, par cieczy. Do wybuchu GT dochodziło blisko tysiąc razy, z czego 251 dotyczyło zbiorników z GT (najwięcej z udziałem LPG). Całkowita liczba poszkodowanych w wybuchach gazów i par cieczy podczas interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej w analizowanym okresie w Polsce wynosi ponad 2 tys. osób, w tym ponad 160 ofiar śmiertelnych oraz 2 tys. rannych. W wybuchach gazów technicznych łącznie odnotowano 48 ofiar śmiertelnych oraz 945 rannych – wśród ofiar śmiertelnych nie odnotowano ratowników, natomiast ranni ratownicy podczas wybuchów gazów technicznych stanowią blisko 9% odsetek wszystkich rannych ratowników podczas interwencji⁷. Analiza rodzajów urazów wykazała, że najczęściej dochodziło do oparzeń lub uszkodzeń ciała w wyniku uderzeń odłamkami zbiorników lub elementów konstrukcyjno-budowlanych budynku lub obiektu, w którym magazynowane były GT. Analiza danych jednoznacznie wskazuje, że problem zagrożenia ze strony gazów technicznych jest istotny, a liczba ofiar, w tym ratowników, wymaga działań prewencyjnych w sensie zwiększenia świadomości zagrożeń, szkoleń, a także poprawy jakości ochrony osobistej ratowników.

firefighting activities, knowledge of the correlation between gas density and air, which determines its dispersion in air, is also important.

Taking into consideration the above, the implementation of the following research project was planned for the 2014-2017 period “The establishment of ways to neutralise the threat of the explosion of selected containers containing industrial gases, including alternative energy sources in the fire environment, for rescuers taking part in firefighting activities”. The running of this research project is being carried out by a consortium consisting of the Main School of Fire Service, the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Gdansk University of Technology, Warsaw University of Technology, and the Corona company. The main aim of this research project is to establish safety measures for firefighters taking part in firefighting activities involving industrial gases.

An analysis of selected literature indicated that during recent years greater attention has been devoted to threats caused by flammable industrial gases stored in cylinders and to the proper way of dealing with those gases during fires. The following work written by T. Jopka is worth mentioning - *Postępowanie podczas zdarzeń z udziałem butli acetylenowych poddanych działaniu ognia, ciepła lub wielokrotnym uderzeniom* (Procedures during incidents with acetylene cylinders subject to fire, heat or multiple shocks) [1]. However, detailed standards set for firefighters dealing with cylinders containing industrial gases have been set only for acetylene cylinders [2].

For the project's implementation, statistical surveys of incidents with industrial gases were performed, as well as an analysis of threats resulting from their use, storage or transport. This paper is an attempt to present the crucial research results indicated in the report [25], as well as the first of two articles concerning the threats caused by cylinders containing industrial gases. The paper focuses mainly on highlighting the magnitude of threats associated with cylinders (tanks) holding industrial gases.

The analysis of information derived from incidents involving firefighting units indicates that 391 thousand interventions take place annually (average for the 2000-2014 period), where the number of local hazards is estimated at around 234 thousand, and fires at 157 thousand [9-10]. During the investigated period there were 32 thousand interventions recorded in which the presence of industrial gases was detected; around 3.1 thousand of those included gas and vapour explosions. There was almost a thousand industrial gas explosions, of which 251 were related to industrial gas cylinders (mostly LPG). The total number of affected parties due to gas and vapour explosions during interventions by firefighting units within the analysed period in Poland amounted to over 2 thousand people, including 160 fatalities and 2 thousand injured. As a result of industrial gas explosions, 48 fatalities and 945 injured were identified – there fatalities among the members of rescue teams, whereas rescuers injured because of industrial gas explosions accounted for almost 9% of all injured rescuers who participated in interventions³. The analysis of injuries indicated that burns or body injuries resulting from being struck by cylinder parts or construction elements of buildings housing industrial gases were the most frequent. The analysis of data clearly indicates that the threat coming from industrial gases is significant and the number of casualties, rescuers included, requires preventive measures in the sense of increasing the awareness of hazards, special training and improving the quality of personal protective equipment for rescuers.

⁷ Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie kryteriów i sposobu klasyfikacji substancji chemicznych i ich mieszanin.

³ The statistics shown in the paragraph are based on the State Fire Service's statistical data. For details, see the research report [25].

2. Charakterystyka zagrożeń

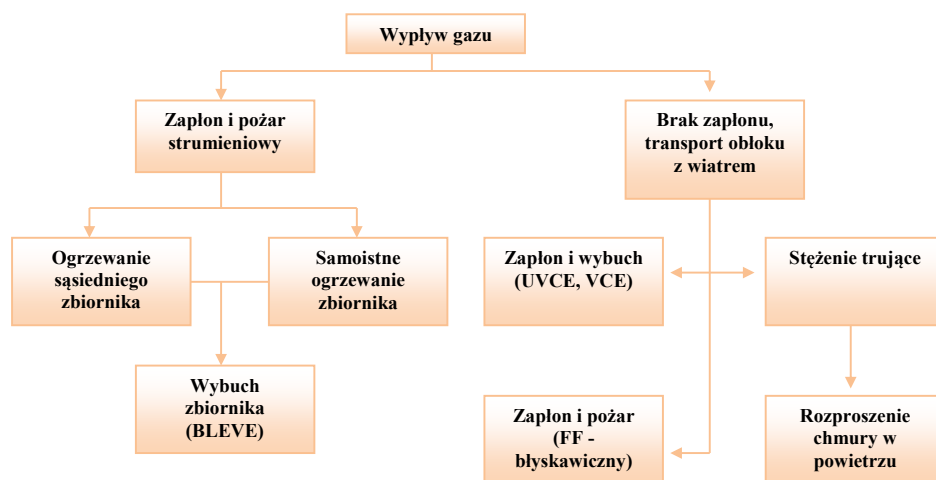
W rozdziale tym w sposób ogólny scharakteryzowano zagrożenia, jakie występują podczas zdarzeń awaryjnych z udziałem gazów technicznych. Jak wspomniano wcześniej gazy techniczne są to głównie gazy palne, które mogą stwarzać różne zagrożenia pożarowo-wybuchowe. Na ryc. 1 przedstawiono algorytm możliwych zdarzeń i zjawisk fizycznych, jakie mogą powstać w wyniku wycieku gazu.

W przypadku wycieku gazu z natychmiastowym zapłonem występuje zjawisko pożaru strumieniowego (Jet Fire). Jeśli wyciek następuje z dużego zbiornika lub sieci przesyłowej, pożar może utrzymywać się przez długi czas. Ze względu na bezpośrednie oddziaływanie płomienia i promieniowania ciepłego stwarza wtedy duże zagrożenie dla otoczenia. Taki pożar jest niebezpieczny szczególnie, gdy występuje samoistne ogrzewanie zbiornika lub ogrzewanie zbiornika sąsiedniego. W innych przypadkach, gdy pożar można kontrolować (np. poprzez chłodzenie zbiornika), jest on zjawiskiem pożądanym przez służby ratownicze, ponieważ prowadzi do całkowitego wypalenia gazu i nie powoduje eskalacji zagrożenia. W pierwszych dwóch przypadkach może jednak doprowadzić do niebezpiecznego wybuchu BLEVE z uformowaniem się kuli ognia (*fireball*).

2. The characteristics of the threats

The present chapter aims at a general characterisation of threats which occur during emergency incidents involving industrial gases. As mentioned previously, industrial gases can be identified as mostly flammable gases which can create various fire and explosion hazards. The diagram below presents an algorithm of possible incidents and physical phenomena which can occur as a result of gas leakage.

In the case of gas leakage with immediate ignition, the phenomenon of jet fire occurs. Such a fire can be sustained for a long time if the leakage comes from a large tank or a transmission grid, posing a real threat to the environment due to the direct impact of the flame and thermal radiation. Such a fire is dangerous, especially when the source is situated in a way that it causes the spontaneous heating of the tank or the heating of a neighbouring tank. In other cases, when the fire can be controlled (for example through the cooling of the tank), it is a phenomenon desired by the rescue team, because it leads to the complete burning of the gas and it does not escalate the threat. In the first two cases it can, however, lead to a dangerous BLEVE explosion, in which a fireball is formed.



Ryc. 1. Algorytm możliwych zdarzeń podczas wycieku gazu palnego
 Źródło: Opracowanie własne W. Klapsa.

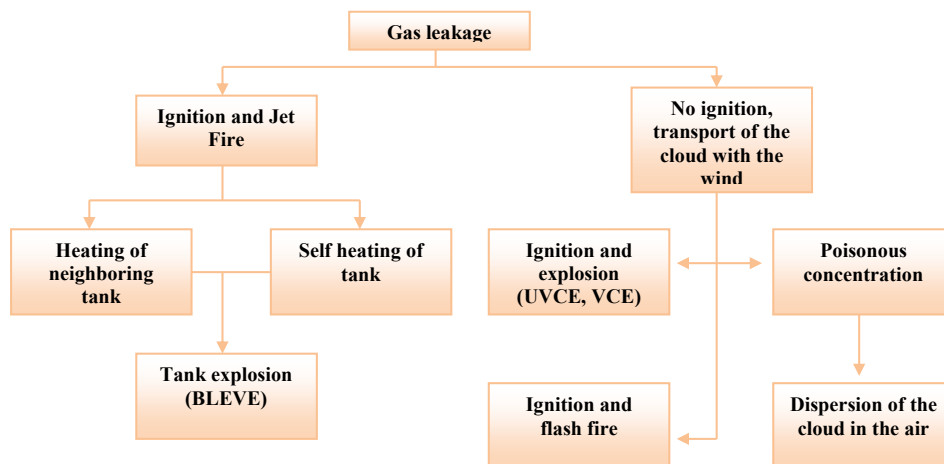


Fig. 1. The event tree of possible incidents during a flow of flammable gas
 Source: Own elaboration by W. Klapsa.

BLEVE [3] (Boiling Liquid, Expanding Vapour Explosion) to wybuch spowodowany wyzwoleniem energii związanej z gwałtownym odparowaniem cieczy w momencie jej nagłego uwolnienia ze zbiornika, przy ciśnieniu wyższym od atmosferycznego i temperaturze przekraczającej jej temperaturę wrzenia. Jeżeli w zbiorniku znajdował się gaz palny, wystąpi wtedy zjawisko kuli ognia. Energia uwolniona w trakcie gwałtownego odparowania uwolnionej ze zbiornika cieczy może powodować powstanie fali uderzeniowej, natomiast *fireball*, czyli spalająca się chmura „paliwo – powietrze”, emituje energię cieplną przede wszystkim w formie promieniowania (rzędu 200–450 kW/m²) [4]. Powstające w czasie spalania siły wyporu gorących gazów powodują, iż chmura ta unosi się, rozszerza i przyjmuje sferyczny kształt. *Fireball*, wytwarzając strefę promieniowania cieplnego, może spowodować zarówno dotkliwe oparzenia skóry, jak i wywołać zapłon materiałów palnych znajdujących się w jego otoczeniu.

Jeśli wypełniony substancją palną zbiornik ulegnie uszkodzeniu i nie dojdzie do natychmiastowego zapłonu jego zawartości, lecz nastąpi wymieszanie się medium z powietrzem, skutkiem wystąpienia awarii może być pożar typu *flash fire* lub wybuch typu VCE (Vapour Cloud Explosion), który w przypadku wystąpienia w nieograniczonej przestrzeni określa się jako UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion).

Kształt płomieni przy pożarze błyskawicznym przybiera taką samą formę jak chmura, która ukształtowała się przed zapłonem. Pożary tego typu powstają, gdy gaz nie do końca wymieszal się z utleniaczem. Siły generowane w wyniku spalania powodują turbulencje, które dodatkowo wspomagają spalanie, bez gwałtownego wzrostu ciśnienia. Przyjmuje się, że na brzegu konturu mieszaniny panuje stężenie gazu palnego równe co najmniej dolnej granicy wybuchowości. W takiej chmurze następuje spalanie deflagacyjne, czyli czoło płomienia rozchodzi się poprzez molekularno-dyfuzyjny transport ciepła oraz turbulentne mieszanie substratów i produktów spalania. Osoby znajdujące się wewnątrz chmury przeważnie poniosą śmierć, natomiast osoby na zewnątrz chmury będą narażone na oddziaływanie promieniowania cieplnego, którego energia będzie zależna od odległości osób znajdujących się od źródła zdarzenia [5].

Wybuchy typu VCE lub UVCE występują, gdy gaz miesza się z powietrzem do czasu utworzenia się mieszaniny palnej, kiedy średnie stężenie substancji jest wyższe niż dolna granica wybuchowości. Podczas detonacji rozprzestrzeniająca się fala uderzeniowa wywołuje gwałtowne sprężanie mieszaniny palnej, powodując samozapłon i powstanie fali spalania, która podąża za falą uderzeniową (jest z nią sprzężona). Dla stechiometrycznych mieszanin węglowodorów z powietrzem prędkość rozchodzenia się fali detonacyjnej wynosi 1700–2100 m/s, co odpowiada wartości nadciśnienia 18–22 bar [6]. Można stwierdzić, że w przypadku wystąpienia detonacji generowane są znacznie większe ciśnienia, a skutki tego typu wybuchów są o wiele bardziej destrukcyjne niż w przypadku deflagacji. Intensywność wybuchu zależy głównie od ilości uwolnionej substancji oraz mocy źródła zapłonu [5].

Zjawisku wybuchu, a w szczególności wybuchu typu BLEVE towarzyszy bardzo niebezpieczne dla ratowników oraz osób postronnych zjawisko tzw. odłamkowania, czyli rozrzućcia elementów rozerwanego zbiornika lub innych elementów stałych znajdujących się na drodze rozchodzenia fali nadciśnienia. Oszacowanie skutków związanych z rozrzućciem odłamków zbiornika po jego rozerwaniu jest bardzo trudne, ponieważ duża liczba czynników, często o charakterze losowym, wpływa na ich powstawanie i ruch w czasie trwania wybuchu. Mogą one powodować obrażenia u ludzi oraz zniszczenia różnego typu elementów konstrukcyjnych i technologicznych i co za tym idzie wywołać tzw. efekt domina.

BLEVE [3] (Boiling Liquid, Expanding Vapour Explosion) is an explosion caused by the release of energy connected with the violent evaporation of the liquid at the moment of its rapid release from the tank, with pressure higher than the atmospheric pressure and temperature higher than its boiling temperature. If a flammable gas were in the tank, the phenomenon of a fireball would take place. The energy released during the violent evaporation of the liquid can create a shockwave, whereas a fireball, meaning a burning “fuel-air” cloud, emits thermal energy mostly in the form of radiation (200–450 kW/m²) [4]. The buoyant forces of hot gases created during combustion cause the cloud to rise, expand and take on a spheric shape. A fireball, by creating a zone of thermal radiation, can also cause severe skin burns and the ignition of flammable materials located in its surroundings.

If a tank filled with a flammable substance becomes damaged and there is no instant ignition of its contents, but they mix with air, a *flash fire* or VCE (Vapour Cloud Explosion) can occur as a result of the incident. A VCE, in the case of unlimited space, is defined as an UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion).

The shape of the flames in the flash fire takes the same form as the cloud which is shaped before the ignition. These types of fire take place when the gas is not completely mixed with an oxidiser. The forces generated as a result of combustion create turbulence which additionally increase combustion without rapid pressure increase. It is set that at the edge of the mixture's contour, the concentration of the flammable gas is equal to at least the lower explosive limit. In such a cloud, deflagration takes place, meaning the flame front is distributed through molecular-diffusive heat transfer and the turbulent mixing of substrates and combustion products. Persons inside the cloud will most likely become fatalities, whereas persons outside of the cloud are in danger of exposure to thermal radiation, the energy of which depends on the distance between the persons and the incident source [5].

VCE or UVCE take place when a gas mixes with air until a flammable mixture is created, where average substance concentration is higher than the lower explosive limit. During detonation, the shockwave causes instant compression of the flammable mixture, which leads to self-ignition and the creation of a combustion wave which follows the shockwave (one wave is conjugated to the other). For stoichiometric mixtures of hydrocarbons with air, the speed of dispersal of the detonation wave amounts to 1700–2100 m/s, which corresponds to the hypertension value of 18–22 bars [6]. It may be stated that, in the case of detonation, generated pressures are significantly higher, and the results of such explosions are far more destructive than in the case of deflagration. The explosion intensity depends mainly on the amount of released substance and the power of the ignition source [5].

An explosion, especially BLEVE, is accompanied by the phenomenon of shrapneling, meaning the dispersal of elements of the tank or other elements standing in the way of the hypertension wave, which is extremely dangerous for rescuers and bystanders. Estimating the effects related to the dispersal of elements is extremely difficult, because a large number of factors, very often of a random nature, influence their creation and their movement. They can cause bodily injuries or damage to different construction or technological elements, which can lead to the so-called domino effect.

3. Gazy techniczne w świetle badań statystycznych

3.1. Charakterystyka problemów badawczych

Istotną część prac badawczo-rozwojowych zmierzających do badania procesów, zjawisk, a w konsekwencji budowy prototypów urządzeń lub technologii, stanowią badania statystyczne. Odpowiedzi udzielane na sformułowane pytania i problemy badawcze stanowią podstawę i uzasadnienie do dalszych prac. Podobnie ma to miejsce w przypadku niniejszych badań, w których autorzy próbują znaleźć odpowiedź na poniższe problemy badawcze:

- Jaka jest skala interwencji, w których zarejestrowano obecność GT?
- W ilu przypadkach odnotowano ich wybuchy?
- Jak często obserwuje się wybuchy gazów technicznych uwolnione do atmosfery (wybuchy przestrzeni gazowo-powietrznych)?
- Jak często obserwuje się wybuchy zbiorników, instalacji z udziałem GT?
- Jaki jest stopień wypadkowości i rodzaj obrażeń odniesionych podczas wybuchów GT?

3.2. Źródła danych statystycznych

Na przedstawione powyżej pytania autorzy udzielili odpowiedzi, analizując raporty z interwencji PSP za lata 2000-2014 oraz inne dostępne światowe bazy danych. Podstawą gromadzenia statystyk operacyjnych PSP jest informacja ze zdarzenia (IZ), potocznie nazywana „meldunkiem”. Na przestrzeni lat 2000-2014 zakres IZ wraz ze sposobem jej sporządzania określało rozporządzenie ministra spraw wewnętrznych i administracji w sprawie szczegółowych zasad organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego [7-8]. W przypadku statystyk krajowych dostęp do danych jest stosunkowo prosty ze względu na sporządzanie i przechowywanie danych w systemie teleinformatycznym SWD-ST (archiwalny: 2000-2009) i SWD-PSP (bieżący: od 2009). Pomimo iż w roku 2011 zmieniło się rozporządzenie określające zasady organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego, w bardzo dużym uproszczeniu, sposób sporządzania i ewidencji raportów PSP nie uległ zmianie.

Statystyki krajowe, w oparciu o które przeprowadzono badania, podzielono na dwie części – standardowe i niestandardowe. W części standardowej znalazły się statystyki ogólnodostępne, np. opublikowane na stronach internetowych Komendy Głównej PSP [9] lub w Biuletynach Informacyjnych PSP [10]. Posłużyły one m.in. do zobrazowania ogólnej liczby interwencji i poszkodowanych w latach 2000-2014, tzw. punktu odniesienia, tła badań. Ze względu na brak w strukturze raportu PSP słowników, czy list wyborów stricte dotyczących GT, np. acetylen, metan, gaz ziemny, propan-butan [LPG] itp., w celu przeprowadzenia badań pojawiła się konieczność opracowania dedykowanych zapytań do baz danych. Opracowany mechanizm sprowadzał się do przeszukiwania części opisowych baz za pomocą słów i wyrażeń kluczowych (wzorców) – tzw. wyrażeń regularnych. Dodatkowo analizie poddano pole raportu o nazwie „numer ONZ substancji niebezpiecznych”. Przykład opracowanych zapytań zamieszczono w części poświęconej metodologii badań – mechanizm selekcji danych.

Do bazy statystyk niestandardowych zaliczono również zbiory powstałe w wyniku „ręcznego” przeglądania części opisowych IZ, pod kątem udzielenia odpowiedzi nt. skali i rodzaju wybuchów mieszanin powietrzno-gazowych, butli, zbiorników, czy instalacji z gazami technicznymi (GT). W tym celu należało przejrzeć i dokonać „ręcznej” analizy blisko 900 części opisowych raportów. W podobny sposób przeanalizo-

3. Industrial gases in statistical data

3.1. The characteristics of research problems

Statistical research is a significant part of research and development activities which aim at researching processes, phenomena and, consequently, creating prototypes of devices or technologies. Answers provided to questions and research problems serve as a basis and explanation for further works. It is similar in the case of the this research, where authors aim at finding answers to the following research problems:

- What is the scale of intervention in which the presence of industrial gases was registered?
- In how many cases were explosions of these gases identified?
- How often can an explosion of industrial gases being released into the atmosphere be observed (gas-air space explosions)?
- How often can explosions of tanks and industrial gas installations be observed?
- What is the accident rate and what is the range of injuries resulting from the explosion of industrial gases?

3.2. Sources of statistical data

On the basis of the questions presented above, the authors provided their answers by analysing the reports from State Fire Service interventions in the 2000-2014 period and other available global databases. The basis for collecting operational statistics by the State Fire Service is found in information on the incident, commonly referred to as a “report”. Within the 2000-2014 period, the range of information and methods of its preparation were specified by the regulation of the Minister of Internal Affairs and Administration on the detailed rules for the organisation of the national firefighting system [7-8]. In the case of national statistics, access to data is relatively easy, because of the preparation and storage of data in the data communications systems SWD-ST (archival: 2000-2009) and SWD-PSP (current: since 2009). Despite the fact that in 2011 the regulation on the rules for the organisation of the national firefighting system was amended, in very simplistic terms the method of preparation and recording reports has not changed.

National statistics, on the basis of which the research was conducted, were divided into two parts – standard and non-standard. The standard part consists of publicly available statistics, for example published on the National Headquarters of the State Fire Service’s website [9] or in the Information Bulletin of the State Fire Service [10]. They were used for example for presenting the general number of interventions and casualties in the 2000-2014 period, the so-called point of reference, the research background. Due to lack of a glossary of terms in the State Fire Service’s report, or lists of choices strictly related to industrial gases such as acetylene, methane, natural gas, propane-butane [LPG] and so on, the necessity of creating dedicated queries to the database arose. The mechanism comes down to searching through descriptive parts of databases with words and key phrases – the so-called regular phrases. Additionally, the report field entitled “the UN number for hazardous substances” was analysed. The sample of developed queries was indicated in the part devoted to research methodology – the mechanism of data selection.

The database for nonstandard statistics also includes data sets created as a result of the “manual” browsing of descriptive parts of reports to provide answers on the range and types of explosion of air-gas mixtures, cylinders, tanks or industrial gas installations. In order to do that, browsing and “manual” analysis of almost 900 descriptive parts of reports had to be performed. Almost 550 descriptive parts were analysed in

wano ok. 550 części opisowych pod kątem klasyfikacji urazów. W przypadku statystyk standardowych możemy mówić o danych w przybliżeniu dokładnych, zaś niestandardowych o danych szacunkowych, obarczonych pewnym poziomem ufności (patrz: opisy filtrów w części poświęconej metodologii badań).

W przypadku statystyk światowych zadanie było niezwykle utrudnione, z uwagi na brak informacji lub dostępu do baz danych z poziomu stron internetowych. W ramach realizacji zadania: zbadano zawartość strony internetowej [11] wraz z innymi dostępnymi publikacjami Międzynarodowego Stowarzyszenia Straży Pożarnych i Służb Ratowniczych (CTIF) [12-13]; wystosowano zapytanie na temat dostępności powyższych statystyk do jednego z współautorów opracowań [12-13] oraz członków organizacji European Network for Fire Investigation and Prevention – sieć 600 członków, ekspertów dochodzeń popożarowych. Zbadano także zawartości 11 potencjalnych baz danych, dostępnych z poziomu stron internetowych [14-24].

3.3. Metodologia i wyniki badań

W niniejszej części w sposób uproszony zaprezentowano, a następnie opisano wady i zalety mechanizmów selekcji danych niestandardowych z systemów SWD-ST i SWD-PSP. Metryki opracowano dla gazów technicznych typu: acetylen, wodór, metan (gaz ziemny), propan-butan (LPG), a następnie przedstawiono je w odniesieniu do zarejestrowanej obecności i wybuchów GT. Konstrukcja mechanizmów wykrywających zdarzenia z udziałem GT zakłada selekcje takich raportów z pożarów i innych miejscowych zagrożeń, w których w części opisowej znalazły się odpowiednio frazy: % wodór % lub % wodoru % lub numer ONZ substancji 1044 (1049); % acetylen % lub numer ONZ substancji 1001; % metan % lub % gaz % % ziemny % lub numer ONZ substancji 1971, 1972; % LPG % lub % propan % % butan % lub numer ONZ substancji 1965, 1978, 1011. Znak „%” oznacza, że w przed lub za znakiem może znajdować się dowolna fraza. W przypadku wybuchów do ww. filtra dodawano konieczność zaistnienia podczas interwencji wybuchu („Rodzaj wybuchu – Gazów par i cieczy = Tak”) [25].

3.3.1. Wodór

Zarejestrowana obecność

Wyniki badań wskazują, że spośród 454 interwencji zarejestrowanych w informacji ze zdarzenia oraz raportów pod frazami „wodór” (wodór) 32% miało miejsce w innych obiektach, 31% w obiektach produkcyjno-magazynowych, 20% w środkach transportu oraz po 7% w obiektach użyteczności publicznej i mieszkalnych. Z analizy 50 wybranych raportów (25: 2000-2009, 25: 2010-2014) wynika, że w 38 przypadkach faktycznie zarejestrowano obecność wodoru lub jego związków, a w 12 przypadkach nie. Uogólniając na całą populację daje to ok. 342 raportów poprawnych i 109 błędnych (0,76:0,24) [25].

Zarejestrowane wybuchy

Do wybuchów wodoru dochodzi stosunkowo rzadko (12). Występują one najczęściej w obiektach produkcyjnych (8). Połowa z raportów odnosiła się faktycznie do zdarzeń, w których ratownicy mieli do czynienia z wybuchami wodoru. W pozostałych raportach zarejestrowano jedynie obecność fraz „wodór” (wodór), które nie mają związku z wybuchowością. Z dużym uproszczeniem można przyjąć, że poziom ufności osiągnął 50% (0,5:0,5) [25].

3.3.2. Acetylen

Zarejestrowana obecność

Z bazy blisko 5,8 miliona pożarów i miejscowych zagrożeń za pomocą opracowanego filtra wyselekcjonowano 826 raportów, w których odnoszono się do zdarzeń z udziałem acetyle-

a similar manner in respect of the classification of injuries. In the case of standard statistics we can speak of approximately precise data, whereas in the case of nonstandard statistics we can speak of estimated data which are subject to a certain confidence level (see: descriptions of filters in the part devoted to the methodology of research).

In the case of worldwide statistics, the task was much more difficult due to lack of information or access to databases at the website level. The following activities were performed within this task: the inspection of the website's content [11] along with other available publications of the International Association of Fire and Rescue Service (CTIF) [12-13]; an enquiry into the availability of the above-mentioned statistics was issued to one of the co-authors of the studies [12-13] and members of the European Network for Fire Investigation and Prevention – a network of 600 members, experts in fire investigation; the content of 11 potential databases available at the website level was examined [14-24].

3.3. Research methodology and the results

The present section presents in a simplified manner and later on describes the advantages and disadvantages of mechanisms for selecting nonstandard data from SWD-ST and SWD-PSP systems. The metrics were created for the following industrial gases: acetylene, hydrogen, methane (natural gas), and propane-butane (LPG), and then they were presented with reference to the registered presence and explosions of industrial gases. The construction of mechanisms identifying incidents involving industrial gases assumes the selection of reports on fires and other local hazards in which the descriptive parts contain the following phrases: % hydrogen % or % hydrogen% or the UN substance number 1044 (1049); % acetylene% or the UN substance number 1001; % methane% or % natural% gas% or the UN substance number 1971, 1972; % LPG % or % propane% %butane% or the UN substance number 1965, 1978, 1011. The symbol % indicates that before or after that symbol any phrase may be inserted. In the case of explosions, the necessity of explosion occurrence during the intervention was added to the above-mentioned filter (“Explosion type – gas steam and liquid = Yes”) [25].

3.3.1. Hydrogen

Registered presence

The research results indicate that among 454 interventions registered in the incident information and reports, under the phrase “hydrogen” 32% took place in other buildings, 31% in production and warehouse facilities, 20% in means of transport and 7% in public utility and residential buildings respectively. After performing an analysis of 50 selected reports (25: 2000-2009, 25: 2010-2014) it can be concluded that in 38 cases the presence of hydrogen or its compounds was for certain registered, whereas in 12 cases the presence was not registered at all. After generalising it to the entire population, it amounts to around 342 correct reports and 109 incorrect reports (0.76:0.24) [25].

Registered explosions

Hydrogen explosions occur relatively rarely (12). Most frequently they occur in manufacturing facilities (8). Half the reports referred to the incidents in which the rescuers in fact had to deal with hydrogen explosions. The remaining reports registered the presence of “hydrogen” phrases, which do not correspond to explosiveness. It may be greatly simplified as that the confidence level reached 50% (0.5:0.5) [25].

3.3.2. Acetylene

Registered presence

From a database of almost 5.8 million fires and local hazards, 826 reports were selected using a developed filter; these reports included information about incidents involving acety-

nu. Wyboru dokonano poprzez wyszukanie numeru ONZ substancji oraz frazy „acetylen” (w różnych odmianach). Rozkład statystyk według kategorii obiektów wykazuje, że obecność tego gazu najczęściej rejestruje się w innych obiektach⁸ – 39% (garaże, warsztaty samochodowe wewnątrz i poza budynkami, inne nietypowe obiekty, budynki, instalacje), w obiektach produkcyjnych i magazynowych (w sumie 29%), w środkach transportu (11%) i obiektach mieszkalnych 9% [25].

W celu określenia poziomu skuteczności opracowanego zapytania zapoznano się z częścią opisową pierwszych 100 „meldunków” (50: 2000-2009, 50: 2010-2014). Wynik analizy to 92 przypadki, w których ratownicy w sposób bezpośredni lub pośredni mieli do czynienia z acetylenem, zaś w przypadku 8 nie potwierdzono jego obecności. Przekładając szacunki na całą populację, można wnioskować, że globalny stosunek prawidłowo do nieprawidłowo wyselekcjonowanych IZ wynosi 0,92:0,08, co przekłada się na 758 poprawnie wybranych do 66 błędnie wybranych raportów [25].

Zarejestrowane wybuchy

Rozkład statystyk wskazuje, że z otrzymanych 36 raportów do wybuchów acetyleny najczęściej dochodziło w obiektach produkcyjno-magazynowych (w sumie 42%), innych obiektach (42%), środkach transportu (8%) i obiektach mieszkalnych (6%). Wyniki analizy 36 raportów to 26 przypadki, w których ratownicy faktycznie mieli do czynienia z wybuchami butli lub obecnością atmosfer powietrzno-gazowych, zaś 13 z nich nie dotyczyło acetyleny. Poziom ufności osiągnął stosunek 0,72:0,28 trafnych raportów [25].

3.3.3. Metan (gaz ziemny)

Zarejestrowana obecność

Metan stanowi jedną z najliczniejszych grup statystycznych GT, zarówno pod względem jego występowania w interwencjach (7352), jak i wybuchów (129). Ma to związek z tym, że występuje w interwencjach, w których zachodzi także konieczność wykonywania pomiarów jego stężenia. Przez to, aż w 57% jego obecność odnotowano w obiektach mieszkalnych (jednorodzinnych i wielorodzinnych), 14% sumarycznie w obiektach produkcyjnych (13%) i magazynowych (1%), a 21% w innych obiektach (inne nietypowe obiekty – poza klasyfikacją). Na podstawie analizy 1% meldunków (35: 2000-2009, 35: 2010-2014) stosunek prawidłowo do nieprawidłowo wyselekcjonowanych raportów określono na 36:34. Przekłada się to na stosunek 0,51:0,49 (3746:3600) poprawnie do błędnie wybranych raportów z całej populacji [25].

Zarejestrowane wybuchy

Częstość zarejestrowanych wybuchów gazu ziemnego (129) pod względem kategorii obiektów jest taka sama jak w przypadku jego obecności. Aż 74% zdarzeń (95 interwencji) dotyczyło obiektów mieszkalnych, zaś 16% obiektów innych. Po przeanalizowaniu ok. 20% interwencji (13: 2000-2009, 13: 2010-2014) okazuje się, że stosunek prawidłowo do nieprawidłowo wyselekcjonowanych raportów wyniósł 24:2, co przekłada się na stosunek 0,92:0,08 (119:10) w całej populacji [25].

3.3.4. LPG (propan-butan)

Zarejestrowana obecność

Najliczniejszą grupą GT pod względem zarejestrowanej obecności (23742) jest LPG (propan-butan). Największą liczbę interwencji odnotowuje się w obiektach mieszkalnych (9850), co daje 41% i środkach transportu (8682) – ok. 37%. Związane jest to w głównej mierze z ulatnianiem się gazu oraz

lene. The selection was made by searching the UN substance number and the “acetylene” phrase (in different combinations). The statistical distribution by building category indicates that the gas presence is identified most frequently in other facilities⁴ – 39% (garages, car workshops inside and outside buildings, other unusual facilities, buildings and installations), in manufacturing facilities and warehouses (in total 29%), means of transport (11%) and residential buildings 9% [25].

In order to estimate the effectiveness level of the query, the descriptive part of first 100 “reports” was evaluated (50: 2000-2009, 50: 2010-2014). The analysis result is 92 cases in which rescuers in direct or indirect way had to deal with acetylene, whereas in 8 cases there was no presence of acetylene identified. Extrapolating the estimates onto the entire population, it can be concluded that the global rate of correctly and incorrectly selected reports amounts to 0.92:0.08, which corresponds to 758 correctly selected and 66 incorrectly selected reports [25].

Registered explosions

The statistical distribution indicates that from 36 received reports, acetylene explosions occurred most frequently in manufacturing facilities and warehouses (in total 42%), other facilities (42%), means of transport (8%) and residential buildings (6%). Among 36 reports, in 26 rescuers had to directly deal with cylinder explosions or the presence of air-gas atmospheres, whereas the presence of acetylene was not indicated in 13 of them. The confidence level reached the following rate of correct reports [25]: 0.72:0.28.

3.3.3. Methane (natural gas)

Registered presence

Methane is one of the most statistically numerous groups of industrial gases when it comes to its presence in interventions (7352) and explosions (129). This is connected with the fact that methane is present in interventions in which the necessity to measure its concentration arises. Thus, its presence is identified in residential (single-family and multi-family) buildings in 57%, 14% in total in manufacturing facilities (13%) and warehouses (1%), and 21% in other facilities (other atypical facilities – not classified). After reviewing 1% of reports (35: 2000-2009, 35: 2010-2014), the ratio of correctly selected reports to those selected incorrectly was 36:34. This translates to the ratio 0.51:0.49 (3746:3600) of correctly and incorrectly selected reports from the entire population [25].

Registered explosions

The frequency of registered explosions of natural gas (129) when it comes to the facility category is the same as in the case of its presence. As many as 74% (95 interventions) concern residential buildings, whereas other facilities constitute 16%. After analysing around 20% of interventions (13: 2000-2009, 13: 2010-2014) it is concluded that the relation of correctly to incorrectly selected reports was 24:2, which corresponds to the following relation 0.92:0.08 (119:10) for the entire population [25].

3.3.4. LPG (propane-butane)

Registered presence

LPG (propane-butane) is the most-numerous group of industrial gases when it comes to registered presence (23742). The greatest number of interventions is identified in residential buildings (9850) which accounts for 41%, and in means of transport (8682) which accounts for 37%. It is mostly connected with the incidence of gas escape or fire involving gas cylinders in residential buildings. Apart from single- and multi-family residential buildings, a significant number of

⁸ Zgodnie z rozporządzeniem ws. szczegółowych zasad organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego poprzez obiekt należy rozumieć miejsce prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych. Szczegóły patrz [1].

⁴ Pursuant to the regulation on detailed rules of organisation of the national firefighting system, a facility means a place where rescue and firefighting activities took place. For details, see [1].

pożarami z udziałem butli gazowych w obiektach mieszkalnych. Oprócz jedno- i wielorodzinnych obiektów mieszkalnych dużą część pożarów stanowią pożary obiektów typu altany, w których butle gazowe z propanem-butanem stanowią podstawowe źródło ogrzewania. Interwencje w środkach transportu to w głównej mierze wypadki (kolizje), w których do standardowych działań należy odłączanie akumulatorów i zakręcanie zaworów w zbiornikach z LPG. Przeanalizowano 100 meldunków z prawdopodobną obecnością LPG (50: 2000-2009, 50: 2010-2014). Skuteczność zapytania wyniosła 57:43, co dla całej bazy raportów przekłada się na proporcje 13533:10209 (0,57:0,43). Oznacza to, że w blisko 60% zdarzeń zanotowano faktyczną obecność GT [25].

Zarejestrowane wybuchy

LPG należy również do najliczniejszej grupy GT pod względem wybuchów (827). Przełożyło się to na blisko 66-procentowy odsetek wybuchów tego gazu w obiektach mieszkalnych (542 interwencje), 11-procentowy w produkcyjno-magazynowych (50, 43) oraz 6-procentowy (50) w środkach transportu. Największa liczba interwencji wynikała z uwalniającego się gazu z butli, co tworzyło mieszaniny powietrzno-gazowe, a następnie ich wybuch. Mniejszą część stanowią pożary, w których miał miejsce wybuch butli gazowych. Dotyczy to głównie pożarów altanek, samochodów wyposażonych w instalacje LPG. Analizie poprawności poddano 100 meldunków (50: 2000-2009, 50: 2010-2014). Faktyczne wybuchy gazu odnotowano w stosunku 88:12 (0,88:0,12), co przekłada się na proporcje 726:99 poprawnie do niepoprawnie wyselekcjonowanych interwencji. Oznacza to, że w blisko 90% interwencji pojawiały się wybuchy propanu-butanu [25].

Wyniki badań podzielono na dwie części. W pierwszej omówione zostaną wyniki badań w odniesieniu do statystyk krajowych i postawionych pytań badawczych, zaś w drugiej w stosunku do statystyk międzynarodowych.

3.4. Statystyki krajowe

Na wstępie zostaną udzielone odpowiedzi na pytania: Jaka jest skala interwencji, w których zarejestrowano obecność GT? W ilu przypadkach odnotowano ich wybuchy?

W latach 2000-2014 w Polsce odnotowano blisko 32 tys. interwencji z zarejestrowaną obecnością gazów technicznych typu: acetylen, wodór, metan (gaz ziemny), propan-butan. Około 10 tys. z nich zakwalifikowano jako pożary (P), a 22 tys. jako inne miejscowe zagrożenia (MZ). W przypadku ok. 1 tys. miał miejsce wybuch (683-P; 321-MZ) [25]. Czy to dużo? Okazuje się, że średnio w ciągu 1 roku w sumie dochodzi do ok. 2100 interwencji z obecnością jednego z ww. gazów, zaś w 67 przypadkach dochodzi do wybuchu.

Szczegółowa analiza danych statystycznych wykazuje, że spośród badanych GT podczas działań ratowniczo-gaśniczych ratownicy najczęściej napotykali się na LPG (23,7 tys.), z czego w 827 przypadkach dochodziło do wybuchów. Rocznie daje to średnio blisko 1600 interwencji i 55 wybuchów. Na drugim miejscu plasuje się gaz ziemny (metan) – obecny w blisko 7,3 tys. interwencji, spośród których w 129 zarejestrowano wybuch. Daje to średnio 490 interwencji i 9 wybuchów rocznie. Mniej liczną grupę stanowią wodór i acetylen. Pierwszy z nich statystycznie pojawił się 454 razy podczas interwencji, z czego 12 razy dochodziło do wybuchu, co daje średnio 30 interwencji i 1 wybuch w roku. Obecność acetylenu zarejestrowano natomiast 826 razy, przy 36 wybuchach, co przekłada się na średnio 55 interwencji rocznie z jego obecnością i 2 wybuchy rocznie [25] (por. tabela 1, ryc. 2).

W tym miejscu należy podkreślić, że prezentowane na rycinach wartości obrazujące obecność i wybuchy badanych GT (por. tabela 1, ryciny 2, 3, itd.) są takie, jak otrzymano na etapie selekcji danych przy pomocy powyżej opisanych fil-

fires took place in summer houses in which gas cylinders containing propane-butane were the main source of heating. Interventions in means of transport are mainly associated with accidents (collisions) in which some of the standard procedures included battery disconnection and valve shut-off in LPG tanks. 100 reports with the possible presence of LPG were analysed (50: 2000-2009, 50: 2010-2014). The query's effectiveness was 57:43, which corresponds to the entire database in the following proportions 13533:10209 (0.57:0.43). This means that in almost 60% of incidents the presence of industrial gases was identified [25].

Registered explosions

LPG is one of the largest groups of industrial gases when it comes to explosions (827). This corresponds to nearly 66% of explosions of LPG in residential buildings (542 interventions), 11% in manufacturing facilities and warehouses (50, 43) and 6% (50) in means of transport. The highest number of interventions resulted from the escape of gas from cylinders which created air-gas mixtures and, consequently, their explosion. Explosions of gas cylinders constitute a smaller part. Such explosions mainly include fires in summer houses and cars with an LPG installation. 100 "reports" were subject to correctness analysis (50: 2000-2009, 50: 2010-2014). Gas explosions were identified in the ratio 88:12 (0.88:0.12) which corresponds to 726:99 of correctly and incorrectly selected interventions. This means that in almost 90% of interventions the explosions of propane-butane were identified [25].

The research results were divided in two parts. In the first part, the results in the context of national statistics and research questions will be reviewed, whereas the second part will concentrate on the results in the context of international statistics.

3.4. National statistics

In the beginning, two questions will be answered. What is the scale of interventions in which the presence of industrial gases was identified? In how many cases were explosions identified?

In Poland, in the 2000-2014 period there were almost 32 thousand interventions with the identified presence of industrial gases such as acetylene, hydrogen, methane (natural gas), and propane-butane. Around 10,000 of these were classified as fires (F), whereas 22,000 were classified as other local hazards (LZ). In the case of around 1,000 interventions, the explosion took place (683-F; 321-LZ) [25]. Is it a high number? It turns out that, on average, there are around 2100 interventions per annum with the presence of one of the above-mentioned gases, whereas explosions take place in 67 cases.

A detailed analysis of statistical data indicates that among all industrial gases examined, LPG was identified most frequently by rescuers during rescue and firefighting activities (23,700), where explosions happened in 827 cases. Annually, it amounts to 1600 interventions and 55 explosions on average. Natural gas (methane) was identified as the second most frequent with almost 7,300 interventions and 129 explosions. On average, this amounts to 490 interventions and 9 explosions per annum. Hydrogen and acetylene were identified less frequently. Hydrogen was identified 454 times during interventions, where explosions happened 12 times, which, on average, amounts to 30 interventions and 1 explosion per annum. Acetylene was identified 826 times with 36 explosions, which corresponds to 55 interventions annually and 2 explosions on average [25] (Table 1, Fig. 2).

It is worth noting that the values presented in the figure, which demonstrate the presence and explosion of examined industrial gases (cf. Table 1, Figs. 2, 3, etc.), are as collected at the moment of data selection with the use of the above-mentioned filters (see: research methodology). The presented val-

Tabela 1. Zarejestrowana obecność (O) i wybuchy (W) wybranych gazów technicznych podczas interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej w pożarach (P) i miejscowych zagrożeniach (MZ) w latach 2000-2014*

Table 1. The registered presence (P) and explosions (E) of selected gases during the operation of units of fire protection in fires (F) and local hazards (LZ) in the 2000-2014 period*

	P/F		MZ / LZ		Suma / Total		Średnia roczna / The annual average	
	O/P	W/E	O/P	W/E	O/P	W/E	O/P	W/E
Wodór / Hydrogen	81	8	373	4	454	12	30	1
Acetylen / Acetylene	698	30	128	6	826	36	55	2
Metan (gaz ziemny) /Methane (natural gas)	1087	67	6265	62	7352	129	490	9
LPG (propan-butan) / propane-butane	8576	578	15166	249	23742	827	1583	55
Suma / Total	10442	683	21932	321	32374	1004	2158	67

*Poziom ufności danych: wodór – obecność 0,75, wybuchy 0,5; acetylen – obecność 0,92, wybuchy 0,72; metan (gaz ziemny) – obecność 0,5, wybuchy 0,9; LPG (propan-butan) – obecność 0,57, wybuchy 0,88.

* Confidence level data: hydrogen – presence 0.75, explosions 0.5; acetylene – presence 0.92, explosions 0.72; methane (natural gas) – presence 0.5, explosions 0.9; LPG (propane-butane) – presence 0.57, explosions 0.88.

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych statystycznych PSP [25].

Source: Prepared by R. Mazur on the basis of statistical data of the State Fire Service [25].

trów (patrz: metodologia badań). Prezentowane wartości nie uwzględniają opisanego przy każdym z filtrów poziomu ufności, który w przybliżeniu wyniósł: dla wodoru – obecność 0,75, wybuchy 0,5; dla acetyleny – obecność 0,92, wybuchy 0,72; dla metanu (gazu ziemnego) – obecność 0,5, wybuchy 0,9; LPG (propan-butanu) – obecność 0,57, wybuchy 0,88 [25].

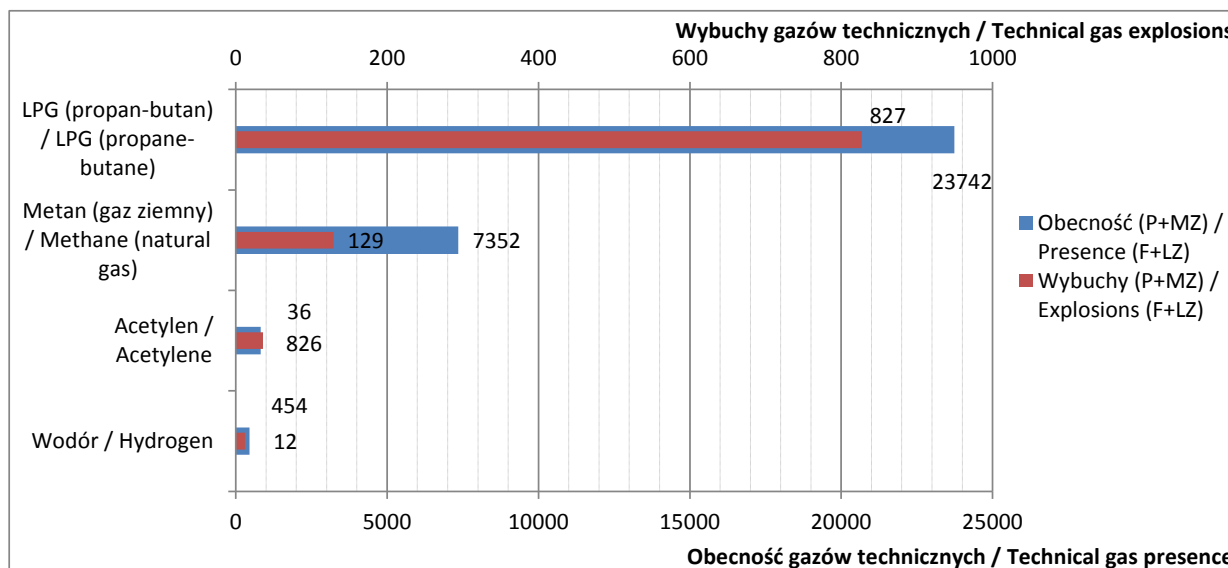
Mając wyobrażenie na temat częstotliwości występowania wybuchów wybranych GT, warto statystycznie uzasadnić istotną dla procesu prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych kwestię, odpowiadając na pytania:

- Jak często obserwuje się wybuchy gazów technicznych uwolnione do atmosfery (wybuchy przestrzeni gazowo-powietrznych)?
- Jak często obserwuje się wybuchy zbiorników, instalacji z udziałem GT?

ues do not indicate the confidence level in relation to each filter, approximate for hydrogen – presence 0.75, explosions 0.5; acetylene – presence 0.92, explosions 0.72; methane (natural gas) – presence 0.5, explosions 0.9; ; or LPG (propane-butane) – presence 0.57, explosions 0.88 [25].

Having a view of the frequency of industrial-gas explosions, it is worth providing answers to the following questions, and statistically justifying an issue important for the firefighting activities:

- How often can explosions of industrial gases released into atmosphere be observed (explosions of gas-air space)?
- How often can explosions of tanks and installations involving industrial gases be observed?



Ryc. 2. Liczba interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej z zarejestrowaną obecnością i wybuchami wybranych gazów technicznych w latach 2000-2014*

*Poziom ufności danych: wodór – obecność 0,75, wybuchy 0,5; acetylen – obecność 0,92, wybuchy 0,72; metan (gaz ziemny) – obecność 0,5, wybuchy 0,9; LPG (propan-butan) – obecność 0,57, wybuchy 0,88

Fig. 2. The number of interventions by Fire Protection Units with a registered presence and explosions of selected gases in the years 2000-2014

*Confidence level data: hydrogen – the presence of 0.75, explosions 0.5; acetylene – presence 0.92, explosions 0.72; methane (natural gas) – presence 0.5, explosions 0.9; and LPG (propane-butane) – presence 0.57, explosions 0.88.

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych statystycznych PSP [25].
Source: Prepared by R. Mazur on the basis of statistical data of the State Fire Service [25].

Udzielenie odpowiedzi na powyższe pytania było niezwykle czasochłonne, ponieważ należało przejrzeć blisko 874 części opisowych raportów, a następnie „ręcznie” sklasyfikować rodzaj wybuchu w rozbiu na wybuchy mieszanin powietrzno-gazowych oraz zbiorników, butli, instalacji.

Wyniki badań wskazują, że ratownicy najczęściej mają do czynienia z wybuchami mieszanin powietrzno-gazowych (517) oraz zbiorników, butli, instalacji (221) z propanem-butanem. Sumarycznie daje to 738 wybuchów w latach 2000-2014, co nieznacznie różni się od danych przedstawionych na rycinie 2 (827). Powyższe wynika z faktu, że na rycinie 1 dane obarczone są pewnym błędem, określonym jako poziom ufności, który dla wybuchów LPG wyniósł blisko 0,88. Otrzymana wartość 738 wybuchów mieści się zatem w zakładanym 12-procentowym błędzie. Drugim z kolei GT pod względem liczby wybuchów jest metan – 92 wybuchy mieszanin powietrzno-gazowych i 13 zbiorników, butli lub instalacji. W przypadku acetyleny w 16 przypadkach dochodziło do wybuchów zbiorników, butli lub instalacji, a 9 mieszanin powietrzno-gazowych, zaś wodoru 1 do 5 na korzyść mieszanin powietrzno-gazowych (ryc. 3) [25].

Nie od dziś wiadomo, że wybuchy GT są tragiczne w skutkach, z uwagi na towarzyszące im promieniowanie cieplne, przyrost ciśnienia czy odłamkowanie. Niestety trudno jest znaleźć w literaturze przedmiotu dane o liczbie poszkodowanych, czy kategorii urazów. Mając na uwadze powyższe, w ramach przedmiotowych badań dokonano przeglądu i analizy raportów, w których zarejestrowano wybuchy GT, z jednoczesną kwalifikacją urazów. Tym samym udzielono odpowiedzi na pytanie: Jaki jest stopień wypadkowości i rodzaj obrażeń odniesionych podczas wybuchów GT?

Według raportów jednostek ochrony przeciwpożarowej całkowita liczba poszkodowanych w latach 2000-2014 w Polsce wyniosła blisko 680 tys. 64 tys. stanowią ofiary śmiertelne, a ponad 615 tys. ranni. Zgodnie z uzyskanymi danymi statystycznymi wśród poszkodowanych zarejestrowano sumarycznie 55 ofiar śmiertelnych i 8264 rannych ratowników (ryc. 4) [25].

W tym miejscu należy podkreślić, że zgodnie z zasadami ewidencjonowania zdarzeń stan i liczba poszkodowanych określone są przez ramy czasowe działań ratowniczo-gaśniczych prowadzonych przez JOP. Oznacza to, że osoba doznająca ciężkich obrażeń ciała, a następnie zabrana przez zespół ratownictwa medycznego w dokumentacji kwalifikowana jest jako ranna. Z chwilą, kiedy po kilku dniach następuje zgon w wyniku doznanych obrażeń, wówczas taka osoba figuruje w dokumentacji dalej jako osoba ranna. Podobnie poszko-

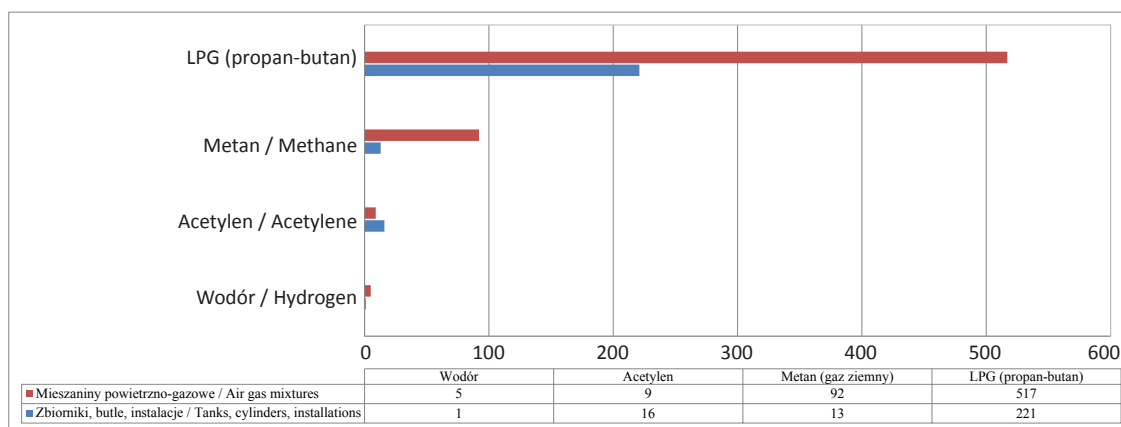
Providing answers to the questions above was time-consuming, because 874 descriptive parts of the reports needed to be examined and then “manually” divided in terms of explosion type: explosions of air-gas mixtures, tanks, cylinders, and installations.

The results indicate that rescuers most frequently deal with explosions of air-gas mixtures (517) and tanks, cylinders, installations (221) with propane-butane. To sum up, it gives 738 explosions within the 2000-2014 period, which is slightly different from the data presented in Figure 2 (827). It comes from the fact that data in Figure 1 is to some extent marked with error, which is specified as a confidence level; for LPG explosions this level amounted to almost 0.88. The value of 738 explosions is within the estimated 12% error. Methane is the second industrial gas when it comes to the number of explosions – 92 explosions of air-gas mixtures and 13 of tanks, cylinders and installations. In the case of acetylene, explosions of tanks, cylinders and installations occurred 16 times, whereas explosions of air-gas mixtures occurred 9 times; in the case of hydrogen this is 1 to 5 in favour of air-gas mixtures (Fig. 3) [25].

It is common knowledge that industrial-gas explosions have a tragic impact, due to thermal radiation, pressure increase and shrapnelling. Unfortunately, it is difficult to find data on the number of victims or injury categories in any literature. Taking into consideration the above, within the scope of the research, a review and analysis of reports where industrial-gas explosions were identified was performed, with the simultaneous classification of injuries. Thus, an answer to the following question was provided: what is the accident rate and what is the range of injuries resulting from the explosion of industrial gases?

According to the reports of fire service units, the total number of casualties in the 2000-2014 period in Poland amounted to almost 680,000. Fatalities constitute 64,000 thousand, whereas injured 615,000. According to the statistical data, among all casualties, 55 fatalities and 8264 injured rescuers were registered in total (Fig. 4) [25].

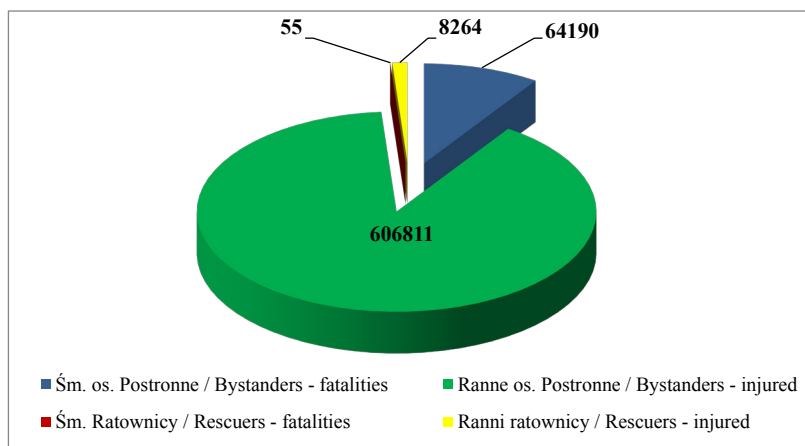
One can note that, pursuant to the rules of keeping records of incidents, the state and number of casualties are specified within the time frame of rescue and firefighting activities performed by fire service units. It means that a person with serious body injuries who is later on transported by a medical-rescue team is classified in documentation as injured. If a given person dies after a few days due to the injuries, such a person is still classified in documentation as injured. Similarly, injured persons who were transported before the fire



Ryc. 3. Liczba interwencji z zarejestrowanymi wybuchami gazów technicznych według rodzaju wybuchu w latach 2000-2014
Fig. 3. The number of interventions recorded bursts of gases according to the type of explosion in the 2000-2014 period

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych statystycznych PSP [25].

Source: Prepared by R. Mazur on the basis of statistical data of the State Fire Service [25].



Ryc. 4. Liczba poszkodowanych zarejestrowanych podczas interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej w latach 2000-2014

Fig. 4. The number of casualties recorded during the intervention of fire protection units in the 2000-2014 period

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych statystycznych PSP [25].

Source: Own elaboration by R. Mazur on the basis of statistical data of the State Fire Service [25].

dowani zabrani z miejsca zdarzenia przed przybyciem straży w wielu przypadkach nie zostali uwzględnieni w raportach z działań JOP.

Na uwagę zasługuje względnie duża liczba poszkodowanych odnotowanych w 874 interwencjach, w których zarejestrowano wybuchy gazów technicznych. Zgodnie z nimi w zdarzeniach tych zmarło 48 osób, a 945 zostało poszkodowanych, z czego wszystkie ofiary to osoby postronne (O), zaś 84 ranni to ratownicy (R). Można było przypuszczać, że największą liczbę rannych pochłonęły interwencje z udziałem LPG – 679 rannych osób postronnych i 52 ratowników, podobnie jak w przypadku metanu – 134 osoby postronne i 7 ratowników. Zaskakująco dużo poszkodowanych zarejestrowano podczas interwencji z udziałem acetyleny – 31 ofiar, 20 rannych i wodoru 17 ofiar, 5 rannych, dlatego postanowiono zbudować wskaźnik, obrazujący skalę poszkodowanych na 10 interwencji z wybuchami (Ranni/10).

Z badań wynika, że na 10 interwencji z wybuchami GT zostaje rannych ok. 9 osób postronnych i 1 ratownik. Natomiast najwięcej osób postronnych – 14 na 10 interwencji i 10 na 10 interwencji – zostało rannych podczas zdarzeń z udziałem odpowiednio wodoru i metanu. Inny charakter rozkładu ma wskaźnik Ranni/10 w przypadku ratowników. Otóż największy odsetek rannych ratowników odnotowano podczas interwencji z acetylenem – blisko 6 oraz wodorem – 4 rannych na 10 zdarzeń (tabela 2) [25].

Analizę rodzaju obrażeń przeprowadzono w oparciu o wyniki badań ujęte w sprawozdaniu [25] w oparciu o 547 interwencji z zarejestrowanymi wybuchami i poszkodowanymi wśród osób postronnych lub ratowników. Z uwagi na obszerność sprawozdania [25] w publikacji przedstawiono syntezę wyników odniesioną do wszystkich GT. Podczas analizy części opisowych IZ szczególną uwagę zwracano na rodzaje obrażeń i ich opis, jednak niestety nie wszystkie raporty zawierają takowe opisy, a jeśli zawierają to często niepełne. Istotne jest zatem, że nie można porównywać między sobą liczby raportów z wybuchami i poszkodowanymi (547), liczby poszkodowanych (945), czy też sumarycznej liczby obrażeń, tym bardziej, że jedna osoba mogła odnieść kilka urazów w ramach jednego wybuchu (oparzenia, złamania itp.).

Z badań wynika, że najczęściej podczas wybuchów dochodzi do oparzeń – ok. 600 przypadków, w tym ogólnie oparzeń (401), I (45), II (79) i III (24) stopnia. W 45 przypadkach odnotowano rozległe oparzenia ciała, a 14 oparzenia górnych dróg oddechowych. Dla ww. przypadków można mówić o bliskiej styczności poszkodowanych z mieszaniną powietrzno-gazową, która ule-

service unit's arrival at the destination were not indicated in the fire service unit's reports.

The relatively high number of victims identified in 874 interventions in which industrial gas explosions were identified is worth noting. According to the numbers, there were 48 fatalities and 945 injured; all fatalities were bystanders (B), whereas 84 injured were rescuers (R). As could be predicted, the highest number of injured came from LPG interventions: 679 injured bystanders and 52 rescuers, similarly to methane interventions – 134 bystanders and 7 rescuers. A surprisingly high number of victims were registered during acetylene interventions – 31 fatalities, 20 injured; and hydrogen: 17 fatalities 5 injured. Thus, the idea emerged to create a new indicator which could reflect the scale of casualties for 10 interventions with explosions (Injured/10).

The research shows that for every 10 interventions with industrial gas explosions, there are 9 injured bystanders and 1 injured rescuer. The highest number of bystanders – 14 in 10 interventions and 10 in 10 interventions – were injured during incidents with hydrogen and methane respectively. When it comes to rescuers, the indicator Injured/10 has a different distribution. The highest number of injured rescuers was identified in acetylene interventions – almost 6 and in hydrogen interventions – 4 injured for 10 incidents (Table 2) [25].

The analysis of injury types was conducted on the basis of the research results indicated in the report [25] with reference to 547 interventions with registered explosions and casualties among bystanders or rescuers. Due to the report's extensiveness [25], the publication includes a synthesis of results which corresponds to all industrial gases. While analysing the descriptive parts of reports, special attention was devoted to the types of injury and their description; however, not all reports included such descriptions and those that did often included incomplete descriptions. Thus it is crucial to remember that the number of reports with explosions and victims (547) cannot be compared to the number of victims (945) or the total number of injuries, especially that one person could be injured in more than one way during an explosion (skin burns, broken bones, etc.).

The research indicates that burns are the most frequent injuries during explosions – around 600 cases, especially burns (401) of the 1st (45), 2nd (79) and 3rd (24) degree. In 45 cases extensive body burns were identified, whereas in 14 cases these were burns of the upper respiratory tract. In the above-mentioned cases, victims were in close contact with an air-gas mixture which combusted and exploded. Other

Tabela 2. Liczba poszkodowanych zarejestrowanych podczas interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej, w których miały miejsce wybuchy gazów technicznych w latach 2000-2014**Table 2.** The number of casualties recorded during the interventions by Fire Protection Units, involving the explosion of industrial gases in the 2000-2014 period

	Poszkodowani / Casualties							
	Suma / Total		Śmiertelne / Fatalities		Ranni / Injured		Ranni/10 Injured/10	
	Śmiert./ Fatalities	Ranni/ Injured	O/B	R	O/B	R	O/B	R
Acetylen / Acetylene	1	51	1	0	31	20	8,6	5,6
Wodór / Hydrogen	0	22	0	0	17	5	14,2	4,2
Metan (gaz ziemny) / Methane	1	141	1	0	134	7	10,4	0,5
LPG (propan-butan) / propane butane	46	731	46	0	679	52	8,2	0,6
Suma / Total	48	945	48	0	861	84	8,6	0,8

O – osoby postronne, R – ratownicy; B – bystanders; R – rescuers;

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych statystycznych PSP [25].**Source:** Prepared by R. Mazur on the basis of statistical data PSP [25].

gła zapaleniu i wybuchowi. Pozostałe obrażenia związane są ze skutkami oddziaływania fali ciśnieniowej bezpośrednio na ofiarę zdarzenia lub pośrednio poprzez elementy konstrukcyjne budynku. W 158 przypadkach wystąpiły wszelkiego rodzaju urazy i obrażenia, w tym urazy, skaleczenia odłamkami szyb, drzwi, elementów konstrukcyjnych budynku (53), urazy wskutek zawalenia się ścian, kondygnacji (34), otarcia, stłuczenia (26), obrażenia głowy (19), kłatki piersiowej (9), urazy w związku z upadkiem z wysokości (4), urazy oczu (5), przedramienia (2), nóg (6). Do wybuchów dochodzi najczęściej w sposób niekontrolowany, nieoczekiwany i towarzyszy im głośny huk. U poszkodowanych występują zaburzenia zachowania, wstrząs, szok (63). Przekłada się to na przyspieszoną akcję serca, duszności (7) (ryc. 5) [25].

3.5. Statystyki światowe

Przeprowadzone badania prowadzą do wniosków, że w Europie i na świecie dostęp do baz danych związanych z wypadkami z udziałem GT jest utrudniony lub niemożliwy. Dokonano przeglądu kilkunastu źródeł danych [12-14], zaś jednymi z nielicznych materiałów, do których udało się dotrzeć autorom to statystyki duńskiej straży pożarnej, światowa baza wiedzy FACTS (Failure and Accidents Technical Information System) o wypadkach przemysłowych z udziałem substancji niebezpiecznych [14] oraz dane Agencji Bezpieczeństwa Rurociągów i Materiałów Niebezpiecznych Departamentu Transportu Stanów Zjednoczonych [15].

W latach 2007-2014 w duńska straż pożarna zarejestrowała w sumie 152 interwencje z udziałem gazów technicznych, z czego najwięcej z udziałem gazu ziemnego LNG (93) i propanu-butanu (47). Z otrzymanych danych wynika, że trend liczby interwencji jest malejący w perspektywie analizowanego okresu.

Utrzymywana w domenie holenderskiej (.nl) baza danych wypadków (incydentów) w przemyśle z udziałem substancji niebezpiecznych FACTS zawiera blisko 26 tys. zdarzeń zarejestrowanych w latach 1907-2010. Dostęp do danych jest możliwy na poziomie ogólnym (darmowym) oraz rozszerzonym pełnym (komercyjnym). Wyniki przeszukiwania bazy po słowach kluczowych (*acetylene*, *propane* lub *butane* lub LPG, *natural gas*, *oxygen*, *hydrogen*) wskazuje, że w badanym okresie na świecie zarejestrowano 5935 incydentów o charakterze przemysłowym z udziałem ww. gazów technicznych (tab. 4).

Misją Agencji Bezpieczeństwa Rurociągów i Materiałów Niebezpiecznych Departamentu Transportu USA jest ochrona społeczeństwa i środowiska przed ryzykiem wypadków z udziałem materiałów niebezpiecznych poprzez regulację

injuries are connected with the direct impact of a pressure wave's on the victim or its indirect impact through construction elements. In 158 cases all kinds of injuries were identified, including injuries and cuts from pieces of glass, doors, construction elements (53), injuries caused by collapsed walls and floors (34), abrasions, bruises (26), head injuries (19), chest injuries (9), injuries caused by falls from heights (4), eye injuries (5), forearm injuries (2), and leg injuries (6). Explosions usually take place in an uncontrollable and unexpected manner; thus, apart from a loud bang, victims experience behavioural disorders and shock (63). It translates into an increased heart rate and shortness of breath (7) (Fig. 5) [25].

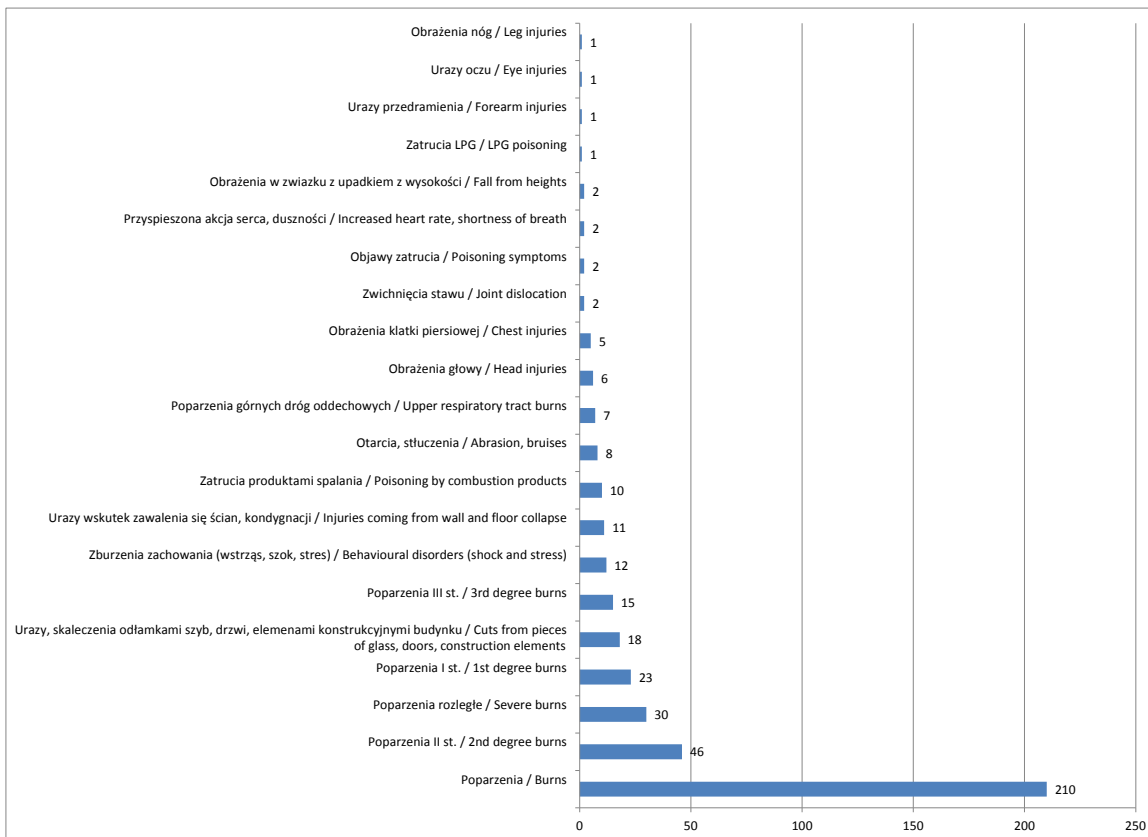
3.5. Global statistics

General conclusions indicate a lack of or limited access to databases connected to incidents involving industrial gases both in Europe and around the globe. Over a dozen data sources were reviewed [12-14], whereas the statistics of Danish fire services, global database FACTS (Failure and Accidents Technical Information System) on industrial incidents involving hazardous substances and data from the US Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration [15] served as data sources.

In the 2007-2014 period, the Danish fire services registered 152 interventions with industrial gases, whereas the highest number was with the natural gas LNG (93) and propane-butane (47). The acquired data show that the number of interventions is decreasing within the analysed period of time.

The FACTS database of industrial incidents involving hazardous substances, which is located on Dutch servers (.nl), includes almost 26 thousand incidents registered in the 1907-2010 period. Access to this data is enabled at the general (free) level and at the advanced full (commercial) level. The key-word search results (*acetylene*, *propane*, *butane*, *LPG*, *natural gas*, *oxygen*, *hydrogen*) indicate that worldwide, in the researched period, there were 5935 incidents of an industrial nature involving the above-mentioned industrial gases (Table 4).

The mission of the US Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration is to protect society and at the environment against incidents with hazardous materials through reviewing national regulations,



Ryc. 5. Kategorie urazów odniesionych podczas wybuchów gazów technicznych zarejestrowane podczas interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej w latach 2000-2014

Fig. 5. Categories of injuries sustained during the explosions of gases recorded during interventions by fire protection units in the 2000-2014 period

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych statystycznych PSP [25].

Source: Own elaboration by R. Mazur on the basis of statistical data of the State Fire Service [25].

Tabela 3. Statystyki duńskiej straży pożarnej dotyczące liczby zdarzeń z gazami technicznymi

Gaz techniczny / Industrial gas	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Suma / Total
Acetylen / Acetylene					1	2	3	2	8
LPG (propan-butan) / Propane-Butane (LPG)	8	4	5	12	4	7	5	2	47
Gaz ziemny/Natural gas	44	23	12	10	4				93
Tlen / Oxygen					1	2	1		4
Suma / Total	52	27	17	22	10	11	9	4	152

Źródło: Opracowanie własne S. Hjere Nonnemann na podstawie Danish Emergency Management Agency.

Source: Own elaboration by S. Hjere Nonnemann on the basis of the Danish Emergency Management Agency.

przepisów krajowych, ustanawianie standardów, edukację i badania zapobiegające występowaniu zdarzeń. Agencja dostarcza zróżnicowane dane o regulacjach federalnych i stanowych w zakresie rurociągów gazowych, materiałów niebezpiecznych, zakładów przemysłowych składających i przetwarzających skroplone gazy naturalne (LNG). Jednym z działań jest opracowywanie raportów w formie rocznych podsumowań oraz trendów na podstawie obserwacji wieloletnich.

Na podstawie danych pozyskanych z bazy danych PHMSA – PDM (Pipeline Data Mart) zamieszczonych na stronie Agencji, opracowano statystyki zdarzeń związanych z dystrybucją, magazynowaniem, przesyłaniem gazu ziemnego LNG z okresu ostatnich 20 lat [15]. Dane pogrupowano według liczby zdarzeń, ofiar śmiertelnych, rannych i szacunkowych strat. Nie przedstawiono statystyk dotyczących zdarzeń z udziałem innych gazów technicznych, ponieważ w bazie zarejestrowanych jest jedynie 5 zdarzeń z udziałem LPG dla wszystkich stanów

setting standards, educating and performing research to prevent the incidents from happening. The Administration provides diverse data on Federal and State regulations in terms of pipelines, hazardous materials, and industrial facilities storing and processing LNG. The Administration’s activities include generating reports in the form of annual summaries and trends based on long-term observations.

On the basis of data collected from the PHMSA – PDM (Pipeline Data Mart) database, posted on the Administration’s website, incident statistics connected with the distribution, storage, transfer of LNG within the last 20 years were generated [15]. The data was categorised according to the number of incidents, fatalities, injured and estimated losses. Statistics on incidents involving other industrial gases were not presented, because there were only 5 incidents with LPG registered within the 2012-2014 period which points to the lack of data on other industrial gases.

Tabela 4. Światowe statystyki wypadków o charakterze przemysłowym z udziałem gazów technicznych w latach 1907-2010**Table 4.** Global statistics on incidents of an industrial nature involving gases in the years 1907-2010

Słowa kluczowe / Keywords	Wynik przeszukania / Search results	Okres / Period
Acetylen / Acetylene	82	1964 - 2008
Propan lub butan lub LPG / Propane or Butane or LPG	2432	1932 - 2010
Gaz ziemny / Natural gas	1231	1907 - 2009
LNG	59	1944 - 2008
CNG	15	1996 - 2008
Tlen / Oxygen	846	1932 - 2009
Wodór / Hydrogen	1344	1921 - 2009
Suma / Total	5935	

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur podstawie Facts Chemical Accident Database [14].

Source: Own elaboration by R. Mazur based on Facts Chemical Accident Database [14].

w okresie 2012-2014, co wskazuje na brak danych o innych GT.

Wyniki badań wskazują, że najczęściej do wypadków dochodzi podczas dystrybucji LNG – 2568 wypadków, co pociąga za sobą 290 ofiar śmiertelnych i ok. 1000 rannych. Szacuje się, że straty sięgają blisko 991,7 mln dolarów (tab. 5) [25].

Zdecydowanie większe straty, bo na poziomie 1,6 mld dolarów notuje się podczas przesyłania gazu ziemnego. Dodatkowo straty rejestrowane są dla mniejszej liczby interwencji – 1946, w których zanotowano 42 ofiary śmiertelne i 174 rannych (tab. 6).

Najmniej interwencji zarejestrowano podczas magazynowania gazu ziemnego – 227. W bazie nie zarejestrowano ofiar śmiertelnych, a jedynie 10 rannych. Straty sięgnęły ok. 363 mln dolarów (tab. 7) [15].

The results indicate that incidents occur most frequently during the distribution of LNG – 2568 incidents, which gives 290 fatalities and around 1000 injured. It is estimated that the losses amount to USD 991.7 million (Table 5) [25].

Significantly higher losses, USD 1.6 billion, are recorded during the transmission of natural gas. What is more, losses are identified for a lower number of interventions – 1946 in which 42 fatalities and 174 injured were identified (Table 6).

The lowest number of interventions was registered during natural gas storage – 227. There were no fatalities and only 10 injured in the database. The losses amounted to USD 363 million (Table 7) [15].

Tabela 5. Liczba zdarzeń, ofiar śmiertelnych, rannych, szacunkowe straty podczas dystrybucji gazów w USA w latach 1995-2014**Table 5.** The number of incidents, fatalities, injuries, and estimated losses during gas distribution in the United States in the years 1995-2014

Rok / Year	Liczba zdarzeń / Number of incidents	Ofiary śmiertelne / Fatalities	Ranni / Injured	Szacunkowe straty [\$] / Estimated losses [\$]
1995	97	16	43	10 950 673
1996	110	47	109	16 252 842
1997	102	9	67	12 493 163
1998	137	18	64	19 055 118
1999	118	16	80	25 913 658
2000	154	22	59	23 398 834
2001	124	5	46	14 071 486
2002	102	10	44	23 804 202
2003	141	11	58	21 032 408
2004	172	18	41	37 506 406
2005	168	15	38	497 998 741
2006	140	18	30	24 515 672
2007	150	10	32	26 356 308
2008	144	6	49	38 544 109
2009	157	9	49	31 934 310
2010	122	11	44	21 289 283
2011	120	13	53	27 789 531
2012	90	9	46	25 557 235
2013	107	9	39	18 426 443
2014	113	18	94	74 859 503
Total	2 568	290	1 085	991 749 925

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych Agencji Bezpieczeństwa Rurociągów i Materiałów Niebezpiecznych Departamentu Transportu Stanów Zjednoczonych [15].

Source: Own elaboration by R. Mazur based on data from the US Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration [15].

Tabela 6. Liczba zdarzeń, ofiar śmiertelnych, rannych, szacunkowe straty podczas przesyłu gazów w USA w latach 1995-2014
Table 6. The number of incidents, fatalities, injuries, and estimated losses during transmission of gases in the United States in the years 1995-2014

Rok / Year	Liczba zdarzeń / Number of incidents	Ofiary śmiertelne / Fatalities	Ranni / Injured	Szacunkowe straty [\$] / Estimated losses [\$]
1995	54	2	7	9 719 250
1996	76	1	5	13 078 474
1997	68	1	5	11 658 117
1998	88	1	11	41 624 324
1999	48	2	8	15 656 834
2000	76	15	16	16 966 261
2001	75	2	5	13 731 347
2002	73	1	4	25 369 331
2003	93	1	8	48 815 101
2004	103	0	2	35 759 907
2005	160	0	5	298 074 982
2006	130	3	3	41 118 273
2007	110	2	7	61 625 942
2008	122	0	5	256 011 440
2009	105	0	11	55 911 891
2010	107	10	61	411 031 047
2011	118	0	1	123 710 870
2012	103	0	7	55 031 817
2013	105	0	2	48 962 098
2014	132	1	1	49 952 578
Suma / Total	1 946	42	174	1 633 809 884

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych Agencji Bezpieczeństwa Rurociągów i Materiałów Niebezpiecznych Departamentu Transportu Stanów Zjednoczonych [15].

Source: Own elaboration by R. Mazur based on data from the US Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration [15].

Tabela 7. Liczba zdarzeń, ofiar śmiertelnych, rannych, szacunkowe straty podczas magazynowania gazów w USA w latach 1995-2014
Table 7. The number of incidents, fatalities injuries, the estimated losses during gas storage in the US in the years 1995-2014

Rok / Year	Liczba zdarzeń / Number of incidents	Ofiary śmiertelne / Fatalities	Ranni / Injured	Szacunkowe straty [\$] / Estimated losses [\$]
1995	10	0	3	238 500
1996	1	0	0	0
1997	5	0	0	420 000
1998	11	0	0	2 862 986
1999	6	0	0	2 184 287
2000	4	0	2	902 000
2001	12	0	0	9 942 878
2002	9	0	1	1 345 538
2003	4	0	0	1 793 460
2004	19	0	1	28 549 185
2005	22	0	2	142 934 775
2006	15	0	1	11 229 498
2007	21	0	0	6 108 094
2008	18	0	0	122 686 462
2009	24	0	0	17 054 105
2010	9	0	0	2 120 878
2011	10	0	0	1 786 922
2012	12	0	0	2 937 821
2013	6	0	0	1 977 657
2014	9	0	0	5 965 427
Suma / Total	227	0	10	363 040 473

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych Agencji Bezpieczeństwa Rurociągów i Materiałów Niebezpiecznych Departamentu Transportu Stanów Zjednoczonych [15].

Source: Own elaboration by R. Mazur based on data from the US Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration [15].

4. Podsumowanie i wnioski

Poszerzając się możliwości i obszary zastosowania gazów technicznych skłaniają do prowadzenia gruntownych badań nad ich właściwościami fizykochemicznymi zarówno w warunkach normalnych, jak i pożarowych. Artykuł ma za zadanie podkreślić w sposób ogólny zagrożenia związane z gazami technicznymi, a następnie uzasadnić w sposób ilościowy, poprzez analizę wyników badań statystycznych, skalę i powagę tych zagrożeń.

Analiza właściwości pożarowo-wybuchowych oraz możliwych scenariuszy zdarzeń awaryjnych wskazuje jednoznacznie na poważne zagrożenie dla osób postronnych i ratowników znajdujących się w strefie rażenia wybuchów GT. Butla z palnym GT stwarza szereg zagrożeń. Może wywołać zjawisko promieniowania cieplnego od pożaru strumieniowego przy wycieku i natychmiastowym zapłonie, zagrożenie wybuchem i wybuch przestrzenny uwolnionego gazu oraz wybuch butli z natychmiastowym rozerwaniem (np. w wyniku ogrzewania butli lub niekontrolowanej reakcji rozkładu acetylenu). Jak pokazują statystyki i analizy zdarzeń awaryjnych najbardziej niebezpieczne są scenariusze z wybuchami, przy czym dla ratowników najbardziej urazowe są zdarzenia, w których dochodzi do wybuchu butli. Fakt ten ma odzwierciedlenie w zaprezentowanej statystyce.

Wnioski z analizy statystycznej należy poprzedzić ogólnymi uwagami i sprostacjami w zakresie sposobu opisu (ewidencjonowania) interwencji z udziałem gazów technicznych, jak również dostępności do baz danych zawierających ww. raporty.

Jednostki Państwowej Straży Pożarnej, zakładowych straży i służb ratowniczych, ochotniczych straży pożarnych z uwagi na zakres swoich kompetencji, uprawnień, czy wyposażenia sprzętowego, zawsze będą utożsamiane jako formacje wiodące w zakresie identyfikacji i usuwania skutków zagrożeń pochodzących od szeroko rozumianych gazów, w tym gazów technicznych. **Istotnym wnioskiem płynącym z powyższego jest fakt, że ratownicy jednostek ochrony przeciwpożarowej posiadają wieloletnie doświadczenie i wiedzę w zakresie potrzeb i mechanizmów tworzenia raportów.** Warto zauważyć, że w ostatnim 20-leciu istotnie wzrosło zapotrzebowanie na „dane statystyczne”, w sensie transferu danych na informację, a informacji na procesy biznesowe, poprzez zastosowanie odpowiednich mechanizmów eksploracji danych. Dwa powyższe wnioski oraz fakt, że **zakres informacji ze zdarzenia sporządzanej przez JOP nie uległ zmianie na przestrzeni ponad 20 lat**, skłaniają do sformułowania bardzo istotnego postulatu – **istnieje konieczność zmiany zakresu informacji ze zdarzenia sporządzanej przez JOP wraz z możliwością dołączania do dokumentacji operacyjnej danych multimedialnych w formie zdjęć i filmów. Brak możliwości systemowej selekcji danych z raportów w zakresie liczby zdarzeń, uszkodzonych z udziałem wybranych gazów technicznych spowodował konieczność opracowania specjalnych filtrów, których wynik obarczonych jest pewnym błędem statystycznym. Ponadto należy zmienić mechanizmy dostępu do baz danych, czyniąc je bardziej otwartymi (mobilnymi), jak również mechanizmy eksploracji i analizy danych.** Wnioski w zakresie zmian mechanizmów opisu informacji ze zdarzeń służb ratowniczych, a także dostępu do danych dotyczą zarówno źródeł danych krajowych, jak i międzynarodowych.

Badania statystyczne dotyczące interwencji z udziałem gazów technicznych pozwoliły wysunąć następujące wnioski:

1. W przeciągu roku średnio dochodzi do 2,1 tys. interwencji, w których rejestruje się ok. 70 wybuchów; najwięcej z nich stanowią wybuchy propanu-butanu – 55 rocznie, metanu – 9 rocznie, acetylenu – 2 rocznie i wodoru – raz na rok;
2. Najczęściej dochodzi do wybuchów mieszanin powietrzno-gazowych (propanu-butanu 517 razy w latach 2000-2014; metanu 92; acetylenu 9; wodoru 5), zaś rzadziej do wybuchów zbiorników butli lub instalacji

4. Conclusions

The growing possibilities and areas where industrial gases can be used require further and detailed research on their physicochemical properties, both in standard conditions and in fire conditions. The aim of this paper is to underline the threats connected with industrial gases and to present in a quantitative manner, through the analysis of statistical data, the scale and importance of these threats.

The analysis of fire-explosion properties and possible scenarios of emergency events point to the seriousness of threats for bystanders and rescuers who are in the danger zone of industrial gas explosions. A cylinder with flammable industrial gas poses a number of threats. It can cause the phenomenon of thermal radiation from jet fires during gas leakage and instant ignition, explosion threats and vapour cloud explosions of the released gas, cylinder explosions with immediate burst (for example as a result of the heating of the cylinders or uncontrolled decomposition of acetylene). As the statistics and analyses of emergency incidents indicate, incidents with explosions are the most dangerous; for rescuers, the most dangerous incidents are those in which cylinder explosions occur. This fact is reflected in the presented statistics.

The conclusions need to be preceded by general comments and notes in terms of keeping records of interventions involving industrial gases, as well as in terms of the availability of databases including the above-mentioned reports.

Units of the State Fire Service, Plant Fire and Rescue Services, and the Volunteer Fire Brigades, due to the scope of their duties, authorisation, specialised equipment, will always be regarded as the formations leading in terms of the identification and removal of incidents' effects when it comes to gases, including industrial gases. **Taking into consideration the above, an important conclusion can be made that the rescuers from firefighting units possess years of experience and knowledge in terms of needs and mechanisms of reporting.** It is worth noting that within the last 20 years, the demand for “statistical data” in the sense of transforming data into information and information into business processes through the mechanisms of data exploration has grown significantly. The two above-mentioned conclusions and the fact that **the scope of information from incidents gathered by Fire Service Units has not changed for over 20 years**, lead to a crucial conclusion – **there is a necessity to change the scope of information which these units gather from incidents with the possibility of attaching multimedia data in the form of pictures and video recordings. It being impossible to carry out systematic data selection in terms of the number of incidents and casualties connected with industrial gases led to the necessity of creating special filters – the results of which are burdened with statistical error. The mechanisms of accessing databases and exploring and analysing data must be changed, in order to make them more accessible.** The conclusions in terms of changes to mechanisms of describing information coming from incidents, as well as changes to access to databases, are related not only to national, but also to international, data sources.

Statistical data on interventions involving industrial gases made it possible to draw the following conclusions:

1. In an average year, there are 2,100 thousand interventions, in which 70 explosions are registered; the highest number of explosions is related to propane-butane – 55, methane – 9; acetylene – 2 and hydrogen – 1 a year.
2. The most frequent explosions are those of air-gas mixtures (propane-butane 517 times in the 2000-2014 period; methane 92; acetylene 9; and hydrogen 5), whereas explosions of cylinders or installations happen less fre-

(LPG 221; metanu 13; acetyleny 16, a wodoru 1) – warto zwrócić uwagę na względnie dużą liczbę wybuchów butli z acetylenem;

3. Odnotowuje się ok. 9 rannych osób postronnych i 1 rannego ratownika na 10 interwencji z wybuchami GT – najczęściej w przypadku wodoru (14 na 10 interwencji), metanu (10/10), acetyleny (ok. 9/10) i LPG (8/10);
4. Największy odsetek rannych ratowników obserwuje się w przypadku zdarzeń z acetylenem – blisko 6 rannych na 10 interwencji z wybuchami GT;
5. Najczęstsze kategorie urazów to oparzenia (I, II i III stopnia), urazy wskutek skaleczenia odłamkami szyb, drzwi, elementów konstrukcyjnych budynku; wstrząs, szok;
6. W przypadku statystyk międzynarodowych zauważono brak dostępu lub utrudniony dostęp do baz danych zawierających jakiegokolwiek informacje nt. wybuchów gazów technicznych.

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

Wykaz skrótów

BLEVE – Boiling Liquid, Expanding Vapour Explosion

GT – Gazy techniczne

IZ – informacja ze zdarzenia

JOP – jednostka ochrony przeciwpożarowej

LNG – skroplone gazy naturalne

LPG – Liquefied Petroleum Gas (propan-butan)

PHMSA – PDM – Pipeline Data Mart

UVCE – Unconfined Vapour Cloud Explosion

VCE – Vapour Cloud Explosion

Literatura / Literature

- [1] Jopek T., *Postępowanie podczas zdarzeń z udziałem butli acetylenowych poddanych działaniu ognia, ciepła lub wielokrotnym uderzeniom*, CNBOP-PIB, Józefów 2013.
- [2] Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z udziałem butli z acetylenem. KG PSP, 27.08.2015.
- [3] *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVE's*, American Institute of Chemical Engineers, New York 1994.
- [4] Porowski R., Ziębaczewski E., *Wybuch fizyczne typu BLEVE*, „Przegląd Pożarniczy” 2006, 1.
- [5] Lesiak P., Porowski R., *Ocena skutków awarii przemysłowej w instalacjach procesowych, w tym efektu domino – część 1*, BiTP Vol. 27 Issue 3, 2012, pp. 13-26.
- [6] *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash Fires, and BLEVE's*, Center for Chemical Process Safety, New York 1994.
- [7] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 29 grudnia 1999 r. w sprawie szczegółowych zasad organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz. U. 1999 nr 111, poz. 1311).
- [8] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 18 lutego 2011 r. w sprawie szczegółowych zasad organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz. U. 2011 nr 46, poz. 239).
- [9] Statystyki interwencji PSP. Strona internetowa Komendy Głównej PSP, http://www.straz.gov.pl/panstwowa_straz_pozarna/interwencje_psp [dostęp: 23.10.2015].
- [10] Praca zbiorowa, *Biuletyn informacyjny Państwowej Straży Pożarnej za lata 1999-2013*, Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej, Warszawa 2000-2014.

quently (LPG 221; methane 13; acetylene 16, and hydrogen 1); the relatively high number of acetylene cylinder explosions is worth noting.

3. There are 9 injured bystanders and 1 injured rescuer identified for every 10 interventions with industrial gases – the highest numbers are in the case of hydrogen (14 for 10 interventions), methane (10/10), and acetylene (around 9/10) and LPG (8/10).
4. The highest numbers of injured rescuers are identified in acetylene incidents – almost 6 injured for every 10 interventions with industrial gas explosions.
5. The most frequently observed categories of injuries are burns (1st, 2nd and 3rd degree), and cuts from glass, doors, construction elements; and stress and shock.
6. In the case of international statistics, lack of access or limited access to databases, including information on industrial gas explosion were noted.

The research was financed by NCBR (The National Centre for Research and Development) and was performed within the project no. DOB-BIO6/02/50/2014, entitled “The establishment of ways to neutralise the threat of the explosion of selected containers containing industrial gases, including alternative energy sources in the fire environment, for rescuers taking part in firefighting activities”.

List of abbreviations

BLEVE – Boiling Liquid, Expanding Vapour Explosion

GT – industrial gases

IZ – information on the incident

JOP – fire service unit

LNG – Liquefied Natural Gas

LPG – Liquefied Petroleum Gas (propane-butane)

PHMSA - PDM - Pipeline Data Mart

UVCE – Unconfined Vapour Cloud Explosion

VCE – Vapour Cloud Explosion

- [11] Strona internetowa International Association of Fire and Rescue Services, <http://www.ctif.org/>, [dostęp: 15.10.2015].
- [12] Brushlinsky N.N., Ahrens M., Sokolov S.V., Wagner P., *World Fire Statistics*, CTIF International Association of Fire and Rescue Services, Report No 14/2009, 19/2014, 20/2015.
- [13] Brushlinsky N. N., Hall J. R., Sokolov S. V., Wagner P., Center of Fire Statistics. *World Fire Statistics*, CTIF International Association of Fire and Rescue Services, Report No 11/2006, 12/2007, 13/2008, 15/2010, 16/2011, 17/2012, 18/2013.
- [14] FACTS chemical accident database, Hazardous materials accidents knowledge base, <http://www.factsonline.nl/> [accessed: 15.10.2015].
- [15] Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration, <http://www.phmsa.dot.gov/hazmat/library/erg>, <http://phmsa.dot.gov/hazmat>. [accessed: 15.10.2015].
- [16] Major Hazard Incident Data Service, http://w3.cetem.gov.br/infomimet/vercadastro1_en.asp?count=131 [accessed: 15.10.2015].
- [17] EM-DAT. The International Disaster Database. Centre for Research on the Epidemiology of Disaster – CRED, <http://www.emdat.be/Database> [accessed: 23.10.2015].
- [18] HSE (Health and Safety Executive Public Register, <http://www.hse.gov.uk/noticeshistory/> [accessed: 23.10.2015].
- [19] U.S. Chemical Safety Board, <http://www.csb.gov/> [accessed: 23.10.2015].
- [20] U.S. Environmental Protection Agency, <http://www3.epa.gov> [accessed: 23.10.2015].
- [21] EU - Major Accident Hazards Bureau (MAHB), <http://actionguide.info/m/orgs/385/> [accessed: 23.10.2015].
- [22] The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), <http://www.oecd.org/about/> [accessed: 23.10.2015].

- [23] Occupational Safety & Health Administration, <https://www.osha.gov/oshstats/index.html> [accessed: 23.10.2015].
- [24] United Nations Environment Programme, Environment for development, <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/> [accessed: 23.10.2015].
- [25] Mazur R., *Analiza danych statystycznych PSP w zakresie wybuchów zbiorników z gazami technicznymi w Polsce w latach 2000-2014*, CNBOP-PIB, Józefów 2015.
- [26] Danish Emergency Management Agency Centre for Emergency Preparedness, www.brs.dk [accessed: 15.10.2015].

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.



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

* * *

mł. bryg. mgr inż. Robert Mazur – absolwent Dziennych Studiów Inżynierskich oraz Uzupełniających Studiów Magisterskich na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Absolwent studiów podyplomowych Wydziału Informatyki Wyższej Polsko-Japońskiej Szkoły Technik Komputerowych, studiów III st. na Wydziale Cybernetyki Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie na kierunku informatyka. Ukończył szereg kursów, szkoleń z zakresu zastosowania systemów informacji przestrzennej GIS (ArcGIS, QGIS) w bezpieczeństwie powszechnym, analityki na bazie danych ORACLE (SQL). W latach 2002-2011 asystent, kierownik laboratorium, wykładowca Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Podczas służby pełnił funkcje Dyspozytora, Dowódcy Zastępu, Pomocnika Dyżurnego Operacyjnego Miejskiego Stanowiska Kierowania w Warszawie, Zastępcy Dyżurnego Operacyjnego Kraju w Stanowisku Kierowania Komendanta Głównego PSP. Od 2011 roku pracuje na stanowisku Starszego Specjalisty w Krajowym Centrum Koordynacji Ratownictwa i Ochrony Ludności Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej, obecnie w Wydziale Przetwarzania Danych Operacyjnych. Na co dzień zajmuje się praktycznym zastosowaniem technik analizy danych (data mining) oraz technologii GIS m.in. w procesie planowania operacyjnego Państwowej Straży Pożarnej.

Robert Mazur, M.Sc.Eng. – Graduate of full-time engineering studies and complementary Master Studies at the Faculty of Fire Safety Engineering, The Main School of Fire Service. A graduate of postgraduate studies at the Faculty of Computer Science, Polish-Japanese Academy of Information Technology, a graduate of third cycle studies in Information Technology at the Faculty of Military Cybernetics, the Military University of Technology in Warsaw. Successfully completed a number of training sessions and workshops in the spatial information system GIS (ArcGIS, QGIS), public safety, and analytics in the ORACLE database (SQL). In the period 2002-2011 worked as an assistant, laboratory manager, lecturer at the Main School of Fire Service. During his service, he performed the function of Dispatcher, Truck Company Commander, Assistant to the Operations Duty Officer at the Municipal Command Centre in Warsaw, Deputy Operations Duty Officer at the Command Centre of the State Fire Service. Since 2011 has worked as a Senior Specialist at the National Centre for Coordination of Rescue Operations and Civil Protection of the State Fire Service; currently at the Department of Processing Operational Data. On an everyday basis, R. Mazur is involved in the practical use of methods of data analysis (data mining) and GIS technologies, for example in the process of the operational planning of the State Fire Service.

mł. bryg. dr inż. Rafał Porowski – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie oraz Wydziału Mechanicznego, Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. W latach 2009-2010 w ramach stypendium Fulbrighta pracował w California Institute of Technology w USA. Obecnie pracuje jako adiunkt w Szkole Głównej Służby Pożarniczej na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego.

Rafał Porowski, Ph.D., Eng. – Graduate of the Main School of Fire Service and the Faculty of Power and Aeronautical Engineering, the Warsaw University of Technology. In 2009-2010 thanks to a Fulbright scholarship worked at the California Institute of Technology, USA. Currently works as an Assistant Professor at the Main School of Fire Service, the Faculty of Fire Safety Engineering.

mł. bryg. mgr inż. Wojciech Klapsa – absolwent Dziennych Studiów Magisterskich na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie na Wydziale Inżynierii, Chemii i Fizyki Technicznej na kierunku chemia. Absolwent studiów podyplomowych na kierunku Bezpieczeństwo, Higiena Pracy i Ergonomia w Wyższej Szkole Finansów i Zarządzania w Warszawie. Wieloletni pracownik Komendy Wojewódzkiej PSP w Warszawie w Wydziale Kontrolno-Rozpoznawczym. Od 2012 roku pełni służbę w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpozarowej Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości. Obecnie zajmuje stanowisko Zastępcy Kierownika Laboratorium.

Wojciech Klapsa, M.Sc.Eng. – Graduate of full-time Masters Studies at the Faculty of Fire Safety Engineering, the Main School of Fire Service. A graduate of the Military University of Technology, Faculty of Engineering, Chemistry and Technical Physics (major in Chemistry). A graduate of postgraduate studies in Safety, Occupational Health and Ergonomics at the University of Finance and Management in Warsaw. A long-time employee of the State Fire Service in Warsaw at the Department of Control and Identification. Since 2012, W. Klapsa has served at the Scientific and Research Centre for Fire Protection, National Research Institute in the Laboratory of Combustion Processes and Explosions. He is currently a Deputy Manager of the Laboratory.

