



ZAGROŻENIA BEZPIECZEŃSTWA STWARZANE PRZEZ MATERIAŁY PIROTECHNICZNE *SAFETY RISKS POSED BY PYROTECHNIC MATERIALS*

Piotr PRASUŁA, *prasulap@witu.mil.*, ORCID: 0000-0001-5053-2046

Izabela MAZUR, *mazurim@witu.mil.pl*, ORCID: 0000-0001-7362-8243

Magdalena CZERWIŃSKA, *czerwinskam@witu.mil*, ORCID: 0000-0002-7945-1044

Piotr CIEŚLAK, *cieslarp@witu.mil.pl*, ORCID: 0009-0004-1171-4903

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, ul. Pr. St. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka
Military Institute of Armament Technology, 7 Wyszynskiego St., 05-220 Zielonka, Poland

DOI 10.5604/01.3001.0053.9218

Streszczenie: Materiały pirotechniczne to rodzaj materiałów wybuchowych, które są stosowane do produkcji wyrobów wojskowych oraz cywilnych. Wyroby te, w przypadku nieodpowiedniego przechowywania lub użycia niezgodnie z ich docelowym przeznaczeniem, mogą zadziałać w sposób niekontrolowany. W skrajnych przypadkach może wystąpić zjawisko wybuchu masowego obejmującego cały ładunek, magazyn lub pojazd transportowy, co w konsekwencji może doprowadzić do znacznych strat w ludziach lub mieniu. Historia przytacza wiele przypadków, w których wybuch widowiskowych wyrobów pirotechnicznych, powszechnie uznawanych za niegroźne, miał katastrofalne skutki dla życia i zdrowia wielu ludzi. Zagrożenia związane ze stosowaniem materiałów pirotechnicznych mogą wynikać m. in. z zaniedbań ze strony producentów, organizacyjnych władz lokalnych, braku lub niezachowania odpowiedniego stopnia bezpieczeństwa przez sprzedawców, organizatorów imprez masowych oraz samych użytkowników. Szczególnie duże zagrożenie ze względu na ilości składowania w jednym miejscu, materiały pirotechniczne stanowią w miejscach wytwarzania oraz magazynowania. Na przestrzeni lat dochodziło do wielu katastrof związanych z przypadkowym zainicjowaniem energetycznych półproduktów lub gotowych wyrobów. Podano przykłady wypadków w Polsce i za granicą, związanych z działaniem materiałów pirotechnicznych. Przedstawiono metody określania stopnia zagrożenia stwarzanego przez towary niebezpieczne oraz przykłady testów serii 6 przeprowadzonych dla wyrobów pirotechnicznych.

Abstract: Pyrotechnic materials are one of the types of explosives which are used to manufacture products for military and civil purposes. These materials, in the event of improper storage or use contrary to their intended purpose, may work in an uncontrolled manner. In extreme cases, the phenomenon of a mass explosion involving the entire load, warehouse or transport vehicle may occur, which in turn may lead to significant losses in people or property. History cites many cases in which the explosion of spectacular pyrotechnic products, generally considered harmless, had catastrophic consequences for the life and health of many people. The risks associated with the use of pyrotechnic materials may result, among others, from: negligence on the part of producers, or organizational local authorities, lack or failure to maintain an appropriate level of security by sellers, organizers of mass events and users themselves. Due to the amount of storage in one place, pyrotechnic materials pose a particularly high risk in the places of production and storage. Over the years, there have been many disasters related to the accidental initiation of energetic semi-finished or finished products. This article describes accidents related to the activation of pyrotechnic materials in Poland and abroad. Methods for determining the degree of hazard posed by dangerous goods and examples of the Test Series 6 carried out for pyrotechnic articles are also presented.

Słowa kluczowe: materiały pirotechniczne, wyroby pirotechniczne widowiskowe, bezpieczeństwo użytkowania, wybuch masowy, klasyfikacja towarów niebezpiecznych

1. Wprowadzenie – materiały pirotechniczne

Materiały pirotechniczne należą do grupy związków wysokoenergetycznych, które służą do wytwarzania efektów: cieplnych, świetlnych, dźwiękowych oraz dymnych. Używane w wyrobach pirotechnicznych kompozycje są mechanicznymi mieszaninami nieorganicznych utleniaczy z stałymi paliwami, proszkami metalicznymi oraz dodatkami wiążącymi [1,2]. Podczas spalania składniki te reagują ze sobą powodując gwałtowny wzrost temperatury i generując dużą objętość produktów gazowych. Szybkość reakcji spalania zależy przede wszystkim od rodzaju zastosowanych komponentów mieszaniny, postaci w jakiej występują (proszek, wypraska), rozmiaru cząsteczek poszczególnych komponentów mieszaniny oraz stopnia ich wymieszania (homogeniczności). Do najważniejszych parametrów określających reakcję spalania przedmiotowej grupy mieszanin wybuchowych można zaliczyć: ciepło reakcji, intensywność światła, kolor, objętość produktów gazowych w przeliczeniu na 1 kg mieszaniny, skuteczność oraz zapalność [3]. Mieszanina pirotechniczna musi być stabilna podczas składowania oraz transportu i jednocześnie charakteryzować się niezawodnością inicjowania za pomocą impulsu ogniowego.

2. Wypadki z wyrobami pirotechnicznymi

Najczęstszą przyczyną wypadków z materiałami pirotechnicznymi są pożary powstałe zarówno w bezpośrednim pobliżu materiałów niebezpiecznych, jak i na skutek przeniesienia ognia z pobliskich budynków i magazynów. Zagrożenie może stanowić składowanie w nieodpowiednich warunkach dużych ilości mate-

Keywords: pyrotechnics, fireworks, safety of use, mass explosion, classification of dangerous goods

1. Introduction – Pyrotechnic Materials

Pyrotechnic materials belong to the group of high-energetic compounds used to produce effects of thermal, light, sound and smoke character. Compositions used in pyrotechnic articles are the mechanical mixtures of inorganic oxidisers with solid propellants, metallic powders and binding additives [1,2]. These ingredients react with each other producing sudden increase of temperature and great volume of gaseous products. The rate of combustion reaction depends most of all on the type of ingredients applied in the mixture and the form they represent (powder, a pressing), the size of particles for particular ingredients, and the degree of their mixing (homogeneity). The calorificity of reaction, intensity of light, colour, volume of gaseous products related to 1 kg of the mixture, efficiency and flammability can be listed as the most important characteristics describing the reaction of combustion for the discussed group of explosive compositions [3]. The pyrotechnic composition has to be stable during storing and transportation, and at the same time has to be characterised by the reliable initiation with a fire pulse.

2. Accidents with Pyrotechnic Articles

Fires are the most common reason of accidents involving pyrotechnic materials and it refers both to the fire set in direct vicinity of dangerous materials and in effect of its transfer from the adjacent buildings or magazines. The threat may be caused by storing huge volumes of materials or articles in wrong condi-

riałów lub wyrobów np. magazynach przyfabrycznych lub w miejscach sprzedaży, a także niezachowanie bezpieczeństwa na liniach produkcyjnych w fabrykach fajerwerków. Do najgroźniejszych wypadków z wyrobami pirotechnicznymi, dochodzi w miejscach, gdzie występują duże skupiska ludzi, podczas wydarzeń kulturalnych lub innych imprez masowych.

Mimo ustanawianych zasad bezpieczeństwa w celu zapobiegania inicjowania, przeniesienia ognia i ograniczania skutków potencjalnej przemiany wybuchowej, nie są one w pełni przestrzegane przez producentów i użytkowników, jak również nie są ściśle egzekwowane przez organy kontroli. Szczególnie duże zagrożenie stanowią zaniedbania podczas składowania większych ilości wyrobów pirotechnicznych. Brak zabezpieczeń oraz lekceważące podejście do procedur bezpieczeństwa może w skrajnych przypadkach doprowadzić do pożaru na dużą skalę lub wybuchu masowego.

Dokumentem normatywnym, odnoszącym się do kwestii zapewnienia bezpieczeństwa procesów technologicznych i podczas powszechnego stosowania wyrobów pirotechnicznych, jest Dyrektywa nr 2013/29/UE [4]. Przepisy zawarte w niniejszej dyrektywie pozwalają na osiągnięcie swobodnego przepływu wyrobów pirotechnicznych na rynkach krajów Unii przy zapewnieniu wysokiego stopnia ochrony zdrowia ludzkiego, bezpieczeństwa publicznego oraz ochrony użytkowników końcowych. Celem dokumentu jest również określenie podstawowych wymagań bezpieczeństwa, które powinny spełniać artykuły pirotechniczne, aby mogły być udostępniane na rynku komercyjnym.

Wszystkie etapy od produkcji, poprzez magazynowanie i transport wyrobów pirotechnicznych obarczone są dużym ryzykiem [5]. Przebieg produkcji fajerwerków obejmuje następujące procesy: składowanie półproduktów, ważenie, mieszanie, wypełnianie korpu-

tions, e.g. in manufacturer's magazines or in selling sites, and negligence of safety in the production lines of fireworks. The most dangerous accidents with the pyrotechnic articles occur in places with high concentration of people like cultural events, or other mass events.

Despite safety regulations established to prevent the initiation and transfer of a fire, and to limit effects of potential explosive reaction they are not followed in full extension by the manufacturers and users, and are not strictly surveyed by the respective controlling agencies. The cases of negligence at storing greater amounts of pyrotechnic articles pose especially high risk. The lack of suitable protections and disrespectful attitude to the safety procedures may cause in extreme cases a fire of large scale or a mass explosion.

Directive No 2013/29/UE is a normative document relating to provision of safety for technological processes and for common use of pyrotechnic articles [4]. Regulations contained in the directive provide a free flow of pyrotechnic articles on the markets of the European Union at provision of a high level of protection for the human health, and public security, and protection of end users. The document is also intended to specify the basic safety requirements for pyrotechnic articles which could be available on the commercial market.

All stages, starting from the production throughout the storing and transport of pyrotechnic articles, are burdened with a high risk [5]. Production of fireworks includes the following processes: storing semi-finished products, weighing, mixing, filling the containers, cutting the fuses, fixing the igniting systems, labelling, drying, packing, storing, and utilisation of by-products, as well.

A report published in the 70-ties by McIntyre and Rindner [6] included the re-

sów, przycinanie lontów, mocowanie układów zapalczyczych, etykietowanie, suszenie, pakowanie, składowanie, a także utylizacje odpadów.

Opublikowany w latach 70-tych przez McIntyre i Rindner raport [6] zawierał wyniki badań przeprowadzonych w latach 1970-1976. Badania wskazały, że 54% z 577 wypadków z udziałem mieszanin lub wyrobów pirotechnicznych nastąpiło w skutek zatarcia materiału wybuchowego. Na drugim i trzecim miejscu znalazło się zainicjowanie na skutek uderzenia oraz działania ładunku elektrostatycznego. Ze względu na fakt, iż wytwarzane obecnie wyroby pirotechniczne produkowane są, w dużej mierze, z analogicznych komponentów, oraz podobnymi metodami produkcji, można stwierdzić, że w dzisiejszych czasach wrażliwość na bodźce mechaniczne mieszanin pirotechnicznych jest kluczowa w ocenie ryzyka. Największa liczba wypadków była w miejscach produkcji materiałów wybuchowych, podczas prac takich jak m. in. przenoszenie, demontaże, konserwacja i utylizacja wyrobów pirotechnicznych.

W pracy [7] przedstawiono wyniki analiz wypadków, które zdarzyły się w latach 1994-2006 w indyjskim stanie Tamil Nadu, stanowiącym główny ośrodek produkcji fajerwerków w Indiach. Najwięcej wypadków z ofiarami śmiertelnymi było podczas produkcji petard z mieszaninami fotobłyskowymi zawierającymi głównie: azotan(V) potasu, siarkę oraz pył aluminiowy. Oszacowano, iż 61% wypadków było spowodowanych poprzez zainicjowanie materiału pirotechnicznego poprzez bodźce mechaniczne (zatarcie lub uderzenie). Analizując dane zebrane w latach 2000-2016 można stwierdzić, że większość wypadków zdarzyła się podczas trzech etapów wytwarzania wyrobów pirotechnicznych tj. mieszania, elaboracji oraz utylizacji pozostałości poprodukcyjnych [5].

Istnieje wiele przesłanek literaturowych,

sults of tests carried out in years 1970-1976. The tests indicated that 54% from 577 accidents with the involvement of pyrotechnic compositions or articles happened in effect of exposing the explosive material to friction. On the second and third place was the initiation caused by an impact and the action of an electrostatic charge. Because of the fact that the pyrotechnic articles are manufactured today from the same components and with the use of similar production processes it can be stated that the sensibility to mechanical stimulations has a key meaning at the evaluation of the risk. The greatest number of accidents was recorded in the places where the explosive materials are manufactured during such operations as transportation, disassembling, conservation, and utilisation of pyrotechnic articles.

Publication [7] presents results of analyses for the accidents which occurred in years 1994-2006 in the Indian state Tamil Nadu, which is the greatest centre for production of fireworks in India. The greatest number of fatalities had occurred at production of firecrackers with photoflash mixtures containing in their composition mainly potassium nitrate (V), sulphur and aluminium powder. It was estimated that 61% of accidents were caused by the initiation of the pyrotechnic material by mechanical stimuli (friction or impact). Analysing the data collected in years 2000-2016 it may be stated that most of the accidents took place during three stages of production of pyrotechnic articles, i.e. at mixing, elaboration, and utilisation of by-products [5].

There is a lot of premisses in the literature describing the methods for identification of threats and evaluation of risks aimed to improve the safety standards and procedures in the pyrotechnic industry [8-16]. Prabhavathi and others in their paper have

które opisują sposoby identyfikacji zagrożeń i oceny ryzyka w celu poprawy standardów i procedur bezpieczeństwa w przemyśle pirotechnicznym [8-16]. Prabhavathi i in. w swoim artykule zaproponowali podejście do zrozumienia i przewidywania katastrof przemysłowych [9]. W celu identyfikacji przyczyn zdarzeń niepożądanych i prognozowania przyszłych wypadków oraz zwiększenia poziomu bezpieczeństwa, wykorzystano zaawansowane algorytmy uczenia maszynowego [10-11]. Ponadto w artykule Nallathambi i in. [11] przedstawili skuteczny system ekspercki przeznaczony dla przemysłu pirotechnicznego w celu zminimalizowania zdarzeń związanych z błędami ludzkimi. Analiza została przeprowadzona i wdrożona w oparciu o metodologię Cross-Industry Standard Process for Data Mining. Zaproponowano system efektywnie zmniejszający ryzyko wynikające z czynnika ludzkiego oraz poprawiający bezpieczeństwo w potencjalnie zagrożonych miejscach pracy.

Do wypadków przyczynia się kilka aspektów. Są to czynniki ludzkie, warunki atmosferyczne, zagrożenia chemiczne, poziom wiedzy pracowników, braki logistyczne i inne [12, 13]. Z powyższych danych wynika, że w celu poprawy bezpieczeństwa przemysłu pirotechnicznego, należy przede wszystkim skutecznie identyfikować zagrożenia i przeprowadzać ich ocenę ryzyka.

Ocena zagrożeń procesu wytwarzania artykułów pirotechnicznych odbywa się powszechnie stosowanymi, dostępnymi technikami oceny ryzyka, takimi jak: Safety Audit, Checklist analysis, „What-If Analysis”, HAZOP, Fire and Explosion Index (F&EI), Failure Mode Effect Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA) And Event Tree Analysis (ETA). Przykład stanowi artykuł [15], w którym przedstawiono propozycję wykorzystania metody „What-If Analysis” do oceny ryzyka i zwiększenia bezpieczeństwa podczas produkcji fajerwerków. Podsumowaniem analizy był szereg wytycz-

proposed an approach to understand and foresee the industrial disasters [9]. Advanced algorithms of machine learning were used to identify the reasons of unwanted incidents and to predict future accidents and to increase the level of safety [10-11]. Moreover, Nallathambi and others in the paper [11] presented an efficient expertise system dedicated to the pyrotechnic industry and aimed to minimise the incidents connected with human errors. The analysis was performed and implemented according with methodology of Cross-Industry Standard Process for Data Mining. A system was proposed for efficient reduction of risks caused by the human factors and improving the safety in potentially threatened work places.

There are a few aspects increasing chances of accidents such as human factors, atmospheric conditions, chemical threats, level of knowledge of workers, logistic shortages, and others [12, 13]. Regarding the above mentioned literature data it has to be stressed that the improvement of pyrotechnic industry safety can be achieved most of all by efficient identification of threats and evaluation of their risks.

The evaluation of threats in the process of pyrotechnic articles manufacture is carried out by commonly used and accessible risk evaluation techniques, such as: Safety Audit, Checklist Analysis, „What-If Analysis”, HAZOP, Fire and Explosion Index (F&EI), Failure Mode Effect Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA), and Event Tree Analysis (ETA). An example is paper [15], where a proposal of using the method of „What-If Analysis” is presented to evaluate the risk and increase the safety at production of fireworks. The analysis was summarised by a series of recommendations for particular stages of production process,

nych dla poszczególnych etapów procesu produkcyjnego, takich jak: magazynowanie surowców i produktów, wytwarzania fajerwerków oraz pakowania i transportu. W wytycznych zwrócono szczególną uwagę na wysoką wrażliwość mieszanin pirotechnicznych na bodźce mechaniczne oraz iskrę elektryczną, podkreślając że wiele wypadków związanych jest z pobudzeniem materiałów pirotechnicznych do przemiany wybuchowej poprzez zatarcie kartonów z wyrobami przy ciągnięciu ich po ziemi lub na skutek upadku z dużej wysokości.

Poniżej przedstawiono przykłady wypadków związanych z użytkowaniem artykułów pirotechnicznych, które miały miejsce w kraju i za granicą.

2.1. Wypadki zagraniczne

Wypadki zagraniczne związane z materiałami pirotechnicznymi bardzo często mają wielką skalę zniszczeń i powodowane są błędami osób odpowiedzialnych za przygotowanie odpowiedniej infrastruktury w miejscach produkcji, składowania i użytkowania wyrobów pirotechnicznych oraz samych użytkowników tych materiałów niebezpiecznych. Czynnikiem zwiększającym skalę zniszczeń wypadków jest nadmierne nagromadzenie zapasów materiałów wybuchowych, surowców i wyrobów gotowych w jednym miejscu. W niektórych przypadkach przyczyną jest ignorowanie zakazu używania narzędzi stalowych ze względu na możliwość iskrzenia. Część przedstawionych zdarzeń związana jest z pracą w prowizorycznych fabrykach nieostrożnym obchodzeniem się z niebezpiecznymi półproduktami przez nieprzeszkolonych pracowników (pracujących w pomieszczeniach produkcyjnych w ilościach przekraczających dozwoloną liczbę) oraz pracą poza wyznaczonymi obszarami.

such as: storing raw materials and products, manufacture of fireworks, and packing, and transportation. Presented recommendations put special stress onto a high sensitivity of pyrotechnic compositions to mechanical stimulations and electric sparks, underlying that many accidents are connected with the initiation of pyrotechnic materials into the explosive reaction by the friction of cardboard boxes containing the articles at dragging them on the ground or by the fall from a great height.

Below are presented some examples of accidents connected with the use of pyrotechnic articles which took place in the country and abroad.

2.1. Accidents in Foreign Countries

Accidents in foreign countries connected with pyrotechnic materials are often characterised by a large scale of demolition and are caused by errors of persons responsible for preparation of a suitable infrastructure in the sites of production, storing and using of pyrotechnic articles, and errors of the users of these dangerous materials. The excessive accumulation of stocks of explosive materials, raw material, and final products in one site is a factor increasing the scale of destruction in the accidents. A negligence of a ban for using the steel tools producing the sparks can be also a reason in some cases. Some of presented incidents are connected with the work in makeshift factories, and uncareful handling with dangerous semi-products by untrained personnel (working in production workshops where the number of workers exceeds the allowed limit), and with the work beyond the assigned area.

2.1.1. Wybuch w fabryce w Holandii

13 maja 2000 roku w holenderskiej dzielnicy Roombeek miejscowości Enschede wybuchł pożar w głównym bunkrze importera chińskich sztucznych ogni firmy S.E. Fireworks, gdzie składowano około 900 kg fajerwerków [17]. Z powodu pozostawionych otwartych wewnętrznych drzwi przeciwpożarowych ogień dotarł do fajerwerków. Pół godziny od wybuchu pożaru, w trakcie akcji gaśniczej doszło do wybuchu 177 ton składowanych na terenie kompleksu fajerwerków. Wybuch o ekwiwalencie 5000 kg TNT słyszalny był w promieniu 60 km i zniszczył całkowicie dzielnicę Roombeek. Słup dymu nad miastem Enschede widoczny był z odległości 70 km, co obrazuje z jaką skalą zdarzenia mierzyły się służby ratownicze. Obszar 42 ha został kompletnie zniszczony, a obiekty znajdujące się na tym terenie nie nadawały się do dalszego użytkowania (fotografie 1, 2). W wyniku wybuchu masowego zniszczeniu uległo 400 okolicznych domów, zginęły 23 osoby, a 950 zostało rannych.

2.1.1. Explosion in Dutch Factory

On 13 May, 2000 in the district Roombeek of Dutch town Enschede the fire arose in the main bunker of S.E. Fireworks importing Chinese fireworks where ca. 900 kg fireworks were stored [17]. Because the internal fire-preventing doors were left open, the fire reached the fireworks. Half an hour after beginning of the fire and during the extinguishing action 177 tons of fireworks stored in the area of the complex went off. The explosion with the equivalent of 5000 kg TNT was heard in the radius of 60 km and district Roombeek was completely destroyed. A column of smoke was visible from the distance of 70 km what indicates the scale of incident the rescue services were to cope. The area of 42 ha was completely destroyed and the objects in this area were not suitable for further use (Photographs 1, 2). In the effect of the mass explosion 400 houses were demolished in the vicinity, 23 persons were killed, and 950 were injured.



**Fot. 1. Widok lotniczy pożaru magazynów z fajerwerkami w Enschede. [18]
i Enschede po eksplozji z 2000 r. [19]**

***Photo 1. View from the air on the fire of magazines with fireworks in Enschede. [18]
Enschede after the explosion of 2000. [19]***



Fot. 2. Strefy katastrofy w Enschede:
 29 ha – strefa awaryjna (linia czerwona);
 80 ha – pierścień wewnętrzny (linia pomarańczowa); 236 ha – pierścień zewnętrzny (linia żółta) [19]

Photo 2. Zones of disaster in Enschede:
 29 ha – emergency area (red line);
 80 ha – inner ring (orange line);
 236 ha – outer ring (yellow line) [19]

2.1.2. Wybuchy fajerwerków w Indiach

Indie posiadają drugi co do wielkości przemysł wyrobów pirotechnicznych na świecie, ustępując pierwszeństwa jedynie chińskiemu dystryktowi Virudhunagar, w którym znajduje się ponad 1000 fabryk, w tym fabryk, które wykonują również zlecenia dla producentów amunicji i uzbrojenia. Niektóre indyjskie fabryki fajerwerków działają bez odpowiednich licencji i produkują towary niezgodnie z przepisami bezpieczeństwa [20], które są normą w krajach europejskich.

10 kwietnia 2016 roku w kompleksie świątyni Puttingal Devi w pobliskim Paravoor podczas pokazu sztucznych ogni, w trakcie którego zgromadziły się setki ludzi, wybuchł pożar spowodowany iskrami z pokazu fajerwerków [21]. Rozprzestrzeniający się ogień (fot. 3) doprowadził do zapalenia i wybuchu magazynu „Kambapuram” wypełnionego petardami błyskowymi i hukowo-błyskowymi oraz innymi wyrobami pirotechnicznymi. Budynek świątyni zawalił się (fot. 3), powodując olbrzymie straty, zarówno w mieniu, jak i w ludziach.

2.1.2. Explosions of fireworks in India

India is a second world manufacturer of pyrotechnic articles leaving the first position to China district of Virudhunagar with more than 1000 factories working also under commissions of manufacturers of arm and ammunition. Some India factories have been operating and producing goods without relevant licences and compliance with safety regulations [20], which become standard in the European countries.

It was on 10 April, 2016 in the complex of temple Puttingal Devi near Paravoor when at a fireworks show the fire erupted in effect of sparks generated by the fireworks in the presence of hundreds of people [21]. The spreading fire (Photo 3) brought to pass the fire and explosion of magazine „Kambapuram” filled with flash and flash-bang firecrackers and other pyrotechnic articles. Building of the temple collapsed (Photo 3) causing huge losses both in property and people.



Fot. 3. Pożar świątyni Puttingal w Kollam w południowym stanie Kerala w Indiach podczas pokazu sztucznych ogni [22] i pozostałości po świątyni Puttingal po pożarze i wybuchu magazynu z fajerwerkami w Indiach [23]

Photo 3. Fire in temple Puttingal in Kollam in the Indian Southern state Kerala at a fireworks show [22] and the ruins of temple Puttingal after the fire and explosion of magazine with fireworks [23]

W wyniku zdarzenia co najmniej 102 osoby zginęły, a 280 zostało rannych, w tym większość poważnie poparzonych. Po pierwszej eksplozji w kompleksie nastąpiła przerwa w dostawie prądu, utrudniająca akcję ratunkową. Wiele domów w pobliżu świątyni zostało poważnie uszkodzonych przez oddziaływanie fali podmuchowej [24].

In the effect of the incident at least 102 persons were killed and 280 injured, and most of them were seriously burnt. The electricity outage occurred in the complex after the first explosion what harmed the rescue operation. A lot of houses in the vicinity of the temple were seriously damaged by the impact of a blasting wave [24].



Fot. 4. Wybuch w prywatnej indyjskiej fabryce fajerwerków w Chennai w Indiach [26], i widok pozostałości po wybuchu w fabryce fajerwerków [26]

Photo 4. Explosion in private fireworks factory in Chennai, India [26], and the ruins left after the explosion [26]

12 lutego 2022 doszło do wybuchu w prywatnej indyjskiej fabryce fajerwerków Sree Mariamman w wiosce Acchankulam w Chennai w stanie Tamil Nadu w południo-

On 12 February, 2022 the explosion occurred in the private Indian factory of fireworks Sree Mariamman in village Acchankulam of Chennai province in Tamil

wych Indiach [25]¹. Kompleks fabryczny składający się w sumie z 60 pomieszczeń podzielonych na kilka jednostek zajmował się produkcją „fajerwerków/petard o specjalnym zastosowaniu”. Wybuch widoczny na fot. 4 nastąpił w obiekcie podzielonym na 15 pomieszczeń, z których wszystkie doszczętnie spłonęły.

Prawdopodobną przyczyną wybuchu było zatarcie mieszaniny pirotechnicznej podczas mieszania składników przed zaelaborowaniem ich do wyrobów [27]. W wyniku zdarzenia zginęło 20 pracowników, a co najmniej 35 zostało ciężko poparzonych.

2.1.3. Wybuch fabryki fajerwerków w Turcji

3 lipca 2020 roku w wyniku pożaru doszło do wybuchu w największej fabryce fajerwerków w północno-zachodniej Turcji w okolicy miasta Hendek [28]. W magazynach zdetonowało 110 ton materiałów wybuchowych, a wybuch był słyszalny w odległości 30 kilometrów. W fabryce pracowało około 190 pracowników [29]. W wyniku wybuchu co najmniej cztery osoby zginęły, a około 100 osób zostało rannych. Widok lotniczy pożaru terenów fabryki na fot. 5 przedstawia skalę zdarzenia. Akcja ratunkowa, w której udział brało 11 zespołów ratowniczych, wspieranych przez 85 karetek i dwa helikoptery gaśnicze, utrudniana była przez dopalanie się pozostałych wyrobów pirotechnicznych oraz kolejne wybuchy i trwała około sześć godzin. W przypadku dużych kompleksów produkujących wyroby pirotechniczne akcje gaśnicze utrudnione były z uwagi na możliwość przenoszenia skutków wybuchu pomiędzy sektorami, w których znajdowały się materiały wybuchowe.

state of Southern India [25]². The manufacturing complex consisting in total of 60 rooms divided into a few units was involved in manufacture of “fireworks/firecrackers of special designation”. The explosion visible in Photo 4 occurred in an object which was divided onto 15 rooms and all of them burnt down.

The friction of pyrotechnic composition at mixing the ingredients before elaboration of the articles was most likely the reason of explosion [27]. As the result of the incident there were 20 casualties and at least 35 people were heavy burnt.

2.1.3. Explosion in Fireworks Factory in Turkey

On 3 July, 2020 the fire brought to pass an explosion in the greatest fireworks factory in the Nord-West Turkey near town of Hendek [28]. 110 tons of explosive materials went off and the explosion was heard at the distance of 30 kilometres. The factory employed ca. 190 workers [29]. As the result of the explosion at least four persons were killed, and ca. 100 persons were injured. The aerial view of the fire over the factory area in photo 5 shows the extension of the incident. The rescue operation involved 11 rescue teams, supported by 85 ambulances, and two fire extinguishing helicopters, and it lasted over 6 hours as it was harmed by the residual pyrotechnic articles burning down and consecutive explosions. In the case of large complexes producing the pyrotechnic articles the extinguishing actions were jeopardised by a possibility for transferring the explosion effects between sectors containing the explosive materials.

¹ <https://www.wsws.org/en/articles/2021/02/18/indi-f18.html> [data dostępu: 18.02.2022].

² <https://www.wsws.org/en/articles/2021/02/18/indi-f18.html> [date of access: 18.02.2022].



Fot. 5. Intensywny pożar w fabryce fajerwerków w Hendek w Turcji [29]

Photo 5. Intense fire in the fireworks factory in Hendek, Turkey [29]

2.1.4. Wybuchy fajerwerków w Mexico City

20 grudnia 2016 roku w Tultepec w stanie Meksyk na targu San Pablito miała miejsce seria wybuchów materiałów pirotechnicznych (fot. 6) będąca skutkiem samowolnego umieszczania przez sprzedawców towarów niebezpiecznych w nieodpowiednich strefach, mających pierwotnie być buforem bezpieczeństwa w przypadku wystąpienia zdarzeń niepożądanych [30].

2.1.4. Explosions of Fireworks in Mexico City

On 20 December, 2016 in Tultepec in Mexico state at San Pablito market a series of explosions of pyrotechnic materials took place (Photo 6) as a result of a law-lessness placing of dangerous articles by sellers in the wrong zones which were originally designated to be a safety buffer in the case of undesired incidents [30].



Fot. 6. Pożar na targu San Pablito w Tultepec w stanie Meksyk [30] i pogorzeliisko targu San Pablito w Tultepec po eksplozji materiałów pirotechnicznych [31]

Photo 6. Fire on the market square San Pablito in Tultepec in Mexico state [30] and market fire site after explosion of pyrotechnic materials [31]

W wyniku zdarzenia zginęło 39 osób, 84 osoby odniosły obrażenia, a pobliskie domy uległy zniszczeniu. Fot. 6 przedstawia też skalę zniszczeń.

5 lipca 2018 w fabryce fajerwerków rów-

As effect of the incident there were 39 fatalities and 84 persons were injured and the houses in the vicinity were destroyed. The scale of damage is shown in photo 6.

On 5 July, 2018 also in Tultepec in a

niez w Tultepec, miały miejsce wielokrotne wybuchy [32]. Pierwsza z eksplozji miała miejsce w nielegalnym magazynie. W wyniku wyrzucenia w powietrze żarzących się elementów oraz dopalających się wyrobów pirotechnicznych doszło do 3 kolejnych wybuchów w sąsiadujących magazynach (fot. 7).

W tym przypadku 17 osób zginęło na miejscu wybuchu, kolejne siedem zmarło w szpitalu, a 49 innych zostało rannych na skutek oddziaływań wysokiej temperatury oraz odłamków wtórych powstałych z uszkodzonych obiektów magazynowych.

fireworks factory many explosions happened [32]. The first explosion took place in an illegal magazine. In effect of ejection into the air of glowing elements and burning down pyrotechnic articles 3 successive explosions in adjacent magazines happened (Photo 7).

In this case 17 persons were killed in the site of explosion, and next seven died in hospital, and 49 other were injured in effect of exposition to high temperature and secondary fragments originating from damaged magazine objects.



**Fot. 7. Wypadek w fabryce w Tultepec – wybuch materiałów [33]
i pozostałości po fabryce fajerwerków Tultepec [34]**

*Photo 7. Accident in factory in Tultepec – explosion of materials [33]
and ruins of the fireworks factory in Tultepec [34]*

2.1.5. Wybuch fabryki fajerwerków w Chinach

8 lipca 2020 roku wybuchł pożar na obszarze produkcyjnym fabryki fajerwerków Jinyan w mieście Guanghan w prowincji Syczuan w południowo-zachodnich Chinach [34]. Większość budynków na terenie przeznaczona była do przechowywania wyrobów pirotechnicznych i lontów pirotechnicznych jak również innych systemów inicjujących stosowanych w wyrobach pirotechnicznych [35, 36]. Na fot. 8 przedstawiono zniszczenia spowodowane wybuchem fajerwerków i pozostałości obiektów znajdujących się na terenie fabryki.

2.1.5. Explosion of Fireworks Factory in China

On 8 July, 2020 a fire went off in the production area of fireworks factory Jinyan in the town Guanghan in Sichuan province of South-West China [34]. Most of the buildings in the area were designed to store the pyrotechnic articles and pyrotechnic safety fuses, and also other initiating systems used in pyrotechnic articles [35, 36]. Photo 8 shows destructions caused by the explosion of fireworks and the ruins of objects placed in the area of factory.



Fot. 8. Pozostałości obiektów na terenie fabryki w Chinach [35]

Photo 8. Ruins of objects in the area of factory in China [35]

Sześć osób zostało rannych, a domy w pobliżu fabryki uległy uszkodzeniom. Prawdopodobną przyczyną zdarzenia były nieodpowiednie warunki środowiskowe podczas przechowywania wyrobów pirotechnicznych w okresie panujących upałów. Oddziaływanie wysokiej temperatury doprowadziło do zainicjowania pożaru w jednym z obiektów i przeniesienia skutków na pozostałe pomieszczenia kompleksu. W wyniku pożaru doszło do zapalenia się i wybuchu masowego składowanej na tym terenie nitrocelulozy stosowanej do produkcji materiałów wybuchowych.

2.2. Wypadki krajowe

Najczęstszymi przyczynami wypadków krajowych, związanych z wyrobami pirotechnicznymi, jest składowanie ich dużych ilości w miejscach nieprzeznaczonych oraz nieprzystosowanych do tego celu np. w budynkach garażowych, na posesjach prywatnych oraz niezachowanie należytego stopnia bezpieczeństwa na stoiskach handlowych.

2.2.1. Wybuch w Łomiankach

31 grudnia 2016 roku w garażu jednego z domów jednorodzinnych, w którym była prowadzona hurtownia wyrobów pirotechnicznych, doszło do wybuchu składowanych w nim towarów niebezpiecznych [37]. W wyniku zdarzenia doszło do zawalenia się ok. 3/4

Six persons were injured and the houses in the vicinity of the plant were destroyed. Irrelevant environmental conditions at storing the pyrotechnic articles at the heatwave were a likely reason of the incident. Impact of the high temperature caused a fire in one of the objects and transfer of effects into other compartments of the complex. In effect of the fire nitrocellulose stored in that area to be used for production of explosive materials caught the fire and produced a mass explosion.

2.2. Accidents in the Country

Storing great volumes of pyrotechnic articles in irrelevant sites which are not adapted for that purpose, e.g. in garages and private houses, and incompliance with demanded levels of safety at selling stands belong to most often reasons of country accidents.

2.2.1. Explosion in Lomianki

On 31 December, 2016 dangerous articles, stored in the garage of one of detached private houses with a wholesale magazine of pyrotechnic articles, went off [37]. In effect of the incident ca. $\frac{3}{4}$ of the possession collapsed (Photo 9). Moreover two delivery

nieruchomości (fot. 9). Ponadto zniszczeniu uległy dwa samochody dostawcze, w których przechowywane były materiały pirotechniczne w momencie zdarzenia oraz dwa kolejne pojazdy zaparkowane przed budynkiem [38].

cars containing stored pyrotechnic materials at the moment of the incident were destroyed both with two another cars parked in front of the building [38].



Fot. 9. Strażacy z OSP Blonie, OSP Łomianki podczas akcji gaśniczej w Łomiankach [37] i widok pogorzeliska po wybuchu hurtowni fajerwerków w domu jednorodzinny w Łomiankach [39]

Photo 9. Firemen from Fire Brigade Blonie and Lomianki at rescue action in Lomianki [37] and the view of fire site after the explosion of the fireworks wholesale stock in the family house [39]

Po kilku godzinach od ugaszenia pożaru służby ratownicze odnalazły pod gruzami domu zwłoki 20-letniej pracownicy hurtowni. Prawdopodobną przyczyną wystąpienia wybuchu było zatarcie stopiny systemu zapalającego podczas wynoszenia baterii wyrzutni wielostrzałowej w opakowaniu transportowym. Skutki wybuchu pojedynczego wyrobu, zostały przeniesione na pozostałe opakowania znajdujące się w obiekcie w wyniku czego doszło do wybuchu masowego kilkudziesięciu kilogramów materiału pirotechnicznego zawartego w składowanych artykułach pirotechnicznych.

A few hours after the extinguishment of the fire the rescue services found in the ruins a body of 20 years old woman employed in the wholesale magazine. A friction to which the igniting system would be exposed was a likely reason of explosion at taking away a battery of multi-firework launcher in the transporting package. The effects of explosion of an individual article were transferred into another packages present in the object and in effect the mass explosion of a few dozen of kilograms of pyrotechnic material contained in stored pyrotechnic articles came about.

2.2.2. Wybuch w Osinowie Dolnym

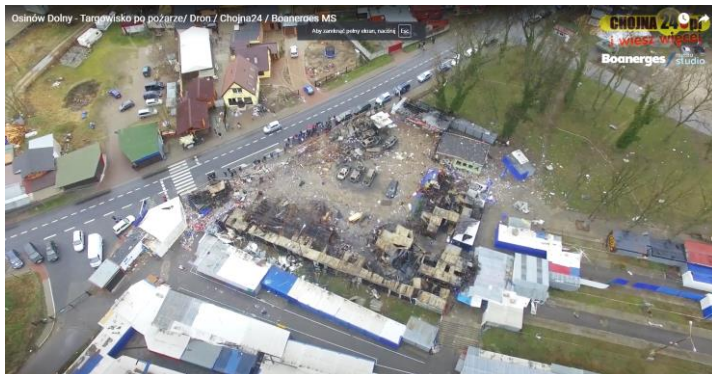
29 marca 2016 na targowisku miejskim w Osinowie Dolnym doszło do wybuchu stoiska z fajerwerkami [40, 41] (fot. 10). Wybuch był słyszalny w promieniu 10 km. Zniszczonych zostało około 50 stoisk handlowych, z czego 20 uległo całkowitemu uszkodzeniu, ponadto spłonęło 6 samochodów, a 11 osób zostało

2.2.2. Explosion in Osinowo Dolne

On 29 March, 2016 in Osinowo Dolne market square an explosion of fireworks stand came about [40, 41] (Photo 10). The blast was heard at the distance of 10 km. About 50 selling stands were devastated, and 20 of them completely, 6 cars burnt down, and 11 persons were injured. The

ranych. Skalę zniszczeń przedstawiono na fot. 10. Wieczorem tego samego dnia na tym samym targowisku zdarzył się drugi pożar, w wyniku którego spaliło się 8 kolejnych stoisk.

scale of devastation is shown in photo 10. In the evening of the same day in the same marketplace a second fire went off and 8 successive stands were burnt.



Fot. 10. Widok lotniczy pogorzeliska po wybuchu fajerwerków na stoisku handlowym w Osinowie Dolnym i widok zniszczeń spowodowanych wybuchem [42]

Photo 10. Aerial view of the fire site after explosion of fireworks on the selling stand in Osinowo Dolne and devastation effects caused by the explosion [42]

2.2.3. Wybuch w Świnoujściu

27 grudnia 2015 na jednym ze stoisk handlowych w Świnoujściu, doszło do wybuchu fajerwerków, który był słyszalny w promieniu około 11 km (fot. 11) [43].

2.2.3. Explosion in Swinoujscie

On 27 December, 2015 the fireworks exploded on one of selling stands in Swinoujscie and the bang was heard at the distance of ca. 11 km (Photo 11) [43].



Fot. 11. Płonące stoisko handlowe po wybuchu materiałów pirotechnicznych w Świnoujściu [43]

Photo 11. Burning stand after explosion of pyrotechnic materials in Swinoujscie [43]

W wyniku zdarzenia zostały całkowicie zniszczone trzy stoiska, kilka kolejnych zostało poważnie uszkodzonych. Rozrzucone w wyniku wybuchu elementy konstrukcyjne stanowisk handlowych spowodowały poważne uszkodzenia pojazdów zaparkowanych w pobliżu miejsca zdarzenia oraz sąsiadujących punktów sprzedaży [44]. Poza zniszczeniami materialnymi w wyniku zdarzenia nie ucierpieli ludzie, pomimo że w czasie zdarzenia na terenie targowiska znajdowało się wielu klientów.

In the incident three stands were completely devastated and a few others were seriously damaged. Cars parked near the place of explosion and at the nearest vicinity of other sellers were seriously damaged by structural fragments of selling stands scattered out by the explosion [44]. Beside the material damages there were no human casualties despite the presence of many customers at the moment of the incident.

3. Metody określania stopnia zagrożenia towarów niebezpiecznych

Wyroby pirotechniczne widowiskowe ze względu na stwarzane zagrożenie mogą być zakwalifikowane do jednej z czterech klas: F1 (bardzo niskie zagrożenie), F2 (niskie zagrożenie), F3 (średnie zagrożenie) i F4 (wysokie zagrożenie). Wyroby pirotechniczne dostępne dla pełnoletnich konsumentów należą do klasy od F1 do F3 i mogą być dystrybuowane bez konieczności posiadania koncesji zarówno przez sprzedających, jak i klientów. Oznacza to, iż wyroby te można określić mianem ogólnie dostępnych.

Badaniami pozwalającymi na zakwalifikowanie materiałów niebezpiecznych do konkretnej klasy, w tym materiałów pirotechnicznych, są testy serii 6 zgodnie z zaleceniami publikacji „Recommendations on the transport of Dangerous Goods. Manual of Tests and Criteria 2019” [45] wydanej przez Organizację Narodów Zjednoczonych.

Badania serii 6 obejmują następujące testy:

- 6(a) – badanie zdolności pojedynczej sztuki przesyłki do wybuchu masowego;
- 6(b) – badanie sztuk przesyłki na zdolność do przenoszenia skutków wybuchu masowego (propagacji) na inne sztuki przesyłki zawierające towar niebezpieczny;
- 6(c) – badanie zdolności sztuki przesyłki do wybuchu masowego, rozrzutu odłamków, emisji ciepła lub gwałtownego spalania się materiału wybuchowego zwartego w danym wyrobie;
- 6(d) – badanie mające na celu przypisanie sztuki przesyłki do podklasy 1.4 oraz grupy zgodności S, potwierdzające ograniczenie skutków przypadkowego zadziałania do pojedynczego opakowania, bez możliwości propagacji na inne sztuki przesyłki.

3. Methods for Identification of Threat Levels for Dangerous Materials

Pyrotechnic spectacular articles may be qualified into one of four classes regarding the posed threats: F1 (very low threat), F2 (low threat), F3 (medium threat) and F4 (high threat). Pyrotechnic articles accessible for adult customers fall into classes from F1 to F3 and may be distributed without any licence both for the sellers and the customers. It means that these articles may be described as commonly accessible.

Tests of series 6 can be used for qualification of dangerous materials, and also pyrotechnic materials, into a specific class according with the guidelines of publication „Recommendations on the transport of Dangerous Goods. Manual of Tests and Criteria 2019” [45] issued by the United Nations Organisation.

Following tests are included in the series 6:

- 6(a) – testing the capacities of individual item of shipment for a mass explosion;
- 6(b) – testing the shipment items on capacities for transferring the effects of mass explosion (propagation) onto the other items of the shipment containing the dangerous goods;
- 6(c) – testing the capacity of a shipment item for the mass explosion, scattering of fragments, emission of heat, or deflagration of explosive material included in a given article;
- 6(d) – testing aimed to designation of a shipment item into the subclass 1.4 and compliance group S, confirming the limitation of effects of a casual activation to individual packing, without possibility of propagation on other items of the shipment.

3.1. Test 6(a) – próba pojedynczej sztuki przesyłki

Test 6(a) jest to badanie pojedynczego opakowania przesyłki (w stanie i postaci, w jakiej są oferowane do przewozu) w celu ustalenia, czy zawartość ulegnie wybuchowi masowemu. Test 6(a) polega na umieszczeniu sztuki przesyłki na stalowej płycie (płyta świadek) na podłożu. Próbka do badań musi znajdować się w opakowaniu lub w kilku opakowaniach transportowych. W celu zasymulowania warunków podobnych jak podczas transportu lub składowania, wokół badanej próbki układa się opakowania o kształcie zbliżonym do badanej sztuki przesyłki, wypełnione ziemią lub piaskiem lub obsypuje piaskiem. Tak przygotowana do badań sztuka przesyłki jest inicjowana za pomocą odpowiedniego impulsu ogniowego.

Na fot. 12 przedstawiono stanowisko badawcze do testu 6(a) oraz efekt podczas przeprowadzanego badania.

3.1. Test 6(a) – Test of Individual Item of Shipment

Test 6(a) concerns testing individual packing of shipment (in the state and form offered for transportation) for establishing if the content can cause a mass explosion. Test 6(a) is based on placing the item of shipment on a steel plate (witness plate) laid down on the ground. Tested sample must be placed in one or a few transport packings. In order to simulate the conditions to be similar to such ones as during the transportation or storage, some packings, having the shape similar to the investigated item of shipment and filled with sand or soil, are laid down around the tested sample, or they are walled in with sand. The item of shipment prepared in such way is initiated by a suitable fire pulse.

Photo 12 shows the testing set-up for test 6(a) and its effect.



Fot. 12. Stanowisko badawcze do testu 6 i efekt wybuchu masowego

Photo 12. Testing set-up for test 6 and effect of mass explosion

Test monitorowany jest za pomocą kamer naziemnych oraz czujników ciśnienia umieszczonych w odpowiednich odległościach. W przypadku wystąpienia wybuchu masowego, którego dowodem jest zaobserwowanie leja

The test is monitored by on-ground cameras and pressure sensors placed at relevant distances. In the case of mass explosion, what is proved by the presence of a post-explosion crater in the site of testing

powybuchowego w miejscu badania, deformacji płyty świadka oraz zarejestrowanych parametrów fali podmuchowej wyrób zostaje zakwalifikowany do podklasy 1.1.

3.2. Test 6(b) – próba stosu

Test 6(b) jest to badanie sztuk przesyłki z materiałem wybuchowym, artykułami wybuchowymi lub nieopakowanymi artykułami wybuchowymi. Test ma na celu określenie czy wybuch rozprzestrzenia się z jednej sztuki przesyłki na drugą, czy też z nieopakowanego artykułu na inny.

Testowi 6(b) poddaje się stos sztuk przesyłki z materiałem wybuchowym lub stos przedmiotów nieopakowanych w takim stanie i formie, w jakiej są oferowane do przewozu. Ilość opakowań lub artykułów o łącznej objętości 0,15 m³ jest układana na stalowej płycie świadka na podłożu, a następnie wokół i na szczycie stosu umieszczane są opakowania lub worki wypełnione ziemią lub piaskiem (zamiennie możliwe jest obsypanie stosu piaskiem). Tak przygotowany do badań stos inicjowany jest za pomocą wyrobu znajdującego się w sztuce przesyłki w pobliżu środka stosu.

Głównym kryterium testu 6(b) jest wybuch masowy zawartości więcej niż jednej sztuki przesyłki lub nieopakowanego przedmiotu, oraz jego propagacja na inne sztuki przesyłki wówczas wyrób zalicza się do podklasy 1.1.

Na fot. 13 przedstawiono stanowisko badawcze do testu 6(b) oraz efekt podczas przeprowadzanego badania.

W przypadku wystąpienia wybuchu masowego możliwe jest zaobserwowanie leja powybuchowego w miejscu badania (znacznie większy niż ten, który tworzy pojedyncza paczka lub nieopakowany przedmiot). Ponadto może dojść do deformacji płyty świadka pod stosem, a zarejestrowane parametry fali podmuchowej mają znacznie większe wartości

and deformation of the witness plate and the recording of a blast wave, the article is qualified to subclass 1.1.

3.2. Test 6(b) – Pile Test

Test 6(b) concerns testing the items of shipment with explosive material, and explosive articles, or unpacked explosive articles. The test is aimed to establish if the explosion propagates from one item of shipment into another, or from an unpacked article into another.

Test 6(b) is applied for a pile of shipment items with explosive material, or a pile of unpacked articles being in a state and form in which they are offered for transportation. Many packages or articles with total capacity 0.15 m³ are piled on a steel witness plate laid down on the ground and in the next step the packages or bags, filled with soil or sand (instead, the pile can be walled in with sand), are put around and on the top of the pile. The pile arranged in this way for the test is initiated by an article placed in the item of shipment somewhere in the centre of the pile.

The main criterium of test 6(b) is the mass explosion of more than one item of shipment or unpacked article and its propagation into another items of shipment, and then the article falls to subclass 1.1.

Photo 13 shows a testing set-up for test 6(b) and the effect of performed test.

In the case of mass explosion a post-explosion crater can be observed in the testing site (significantly greater than such which is created by a single packing or by unpacked article). Moreover, the witness plate placed under the pile can be deformed and the recorded parameters of blasting wave have much higher values of pressure than in the case of a single item

ciśnienia niż w przypadku pojedynczej sztuki przesyłki lub nieopakowanego przedmiotu.

of shipment or unpacked article.



Fot. 13. Stanowisko badawcze do testu 6(b) i efekt wybuchu masowego
Photo 13. Testing set-up for test 6(b) and the effect of mass explosion

3.3. Test 6(c) – próba ognia zewnętrznego

Test 6(c) to badanie przeprowadzane na opakowaniach transportowych zawierających materiał lub przedmiot wybuchowy. Celem testu jest określenie, czy istnieje zagrożenie wybuchem masowym lub zagrożenie spowodowane rozrzutem odłamków, promieniowaniem termicznymi/lub gwałtownym spalaniem w przypadku pożaru. Na fot. 14 pokazano schemat stanowiska badawczego do testów 6 (c).

3.3. Test 6(c) – Test of External Fire

Test 6(c) is for testing shipment packages containing explosive material or article. The objective of the test is to identify if there is a threat of mass explosion or a threat caused by scattered fragments, thermal radiation/ or deflagration in the case of fire. Photo 14 shows a scheme of testing set-up for tests 6 (c).



Fot. 14. Stanowisko badawcze do testu 6(c) i efekt wybuchu masowego zarejestrowany kamerą umieszczoną na dronie
Photo 14. Testing set-up for test 6(c) and effect of mass explosion recorded by a drone camera

W skład stanowiska badawczego testu 6(c) wchodzi takie elementy jak:

- a) zbiornik z paliwem ciekłym (typu wanna) lub palenisko na drewno. Należy zastosować taką ilość paliwa, która będzie wystarczająca do podtrzymania ognia przez co najmniej 30 minut lub, jeśli to konieczne, do czasu, gdy substancja lub przedmiot wyraźnie zareagują na ogień,
- b) ruszt metalowy, siatka lub inny element podtrzymujący badane wyroby nad paleniskiem i umożliwiający odpowiednie ogrzewanie. Jeżeli stosuje się palenisko z drewnem, kratka powinna znajdować się 1,0 m nad ziemią, a jeżeli stosuje się ognisko z paliwem ciekłym, wówczas ruszt powinien znajdować się 0,5 m nad powierzchnią paliwa.,
- c) ekrany obserwacyjne wykonane z arkuszy blachy aluminiowej o wymiarach 2x2 m oraz grubości 2 mm, pełniące rolę płyt świadków wraz z odpowiednimi wspornikami utrzymującymi je w pionie,
- d) odpowiednie środki zapłonu do zapalenia paliwa z co najmniej dwóch stron, np. do rozpalania drewna można zastosować naftę do nasączenia drewna oraz pirotechniczne ładunki zapalające do zainicjowania paliwa ciekłego,
- e) linia strzałowa z zapalarką,
- f) czujniki ciśnienia fali podmuchowej oraz oscyloskop do zapisu przebiegu badania,
- g) sprzęt rejestrujący: kamera wideo, aparat fotograficzny zdolne do rejestrowania przebiegu badania.

Wymagana liczba przesyłek lub rozpakowanych przedmiotów, w stanie i formie, w jakiej są przeznaczone do przewozu, powinna być ułożona jak najbliżej siebie na ruszcie. Jeżeli przewidywane są skutki kierunkowe, to opakowania lub przedmioty powinny być zorientowane w taki sposób, aby zmaksymalizować prawdopodobieństwo trafienia w płyty

Testing set-up for test 6(c) comprises following components:

- a) container (of a tub type) with a liquid fuel or a hearth for wood. A suitable amount of fuel has to be used to sustain the fire for at least 30 minutes, or in necessary case, until the time when the substance or the article show a distinct reaction against the fire,
- b) metallic grate, net or another element sustaining the tested articles over the hearth and providing a demanded heating. If the hearth with wood is used, then the grate has to be placed 1.0 m over the ground, and when the fire is used with a liquid fuel, then the grate has to be placed 0.5 m over the surface of fuel,
- c) observation screens made of aluminium sheets with dimension 2x2 m and thickness 2 mm as the witness plates fixed to vertical supporting poles,
- d) relevant means of ignition for setting the fire at least on two sides, for instance the kerosene may be used to soak the wood and start the fire, and pyrotechnic ignition shots to fire the liquid fuel,
- e) firing cord with detonator,
- f) sensors recording the pressure of blasting wave on oscilloscope during the test,
- g) Recording equipment: video camera and picture camera capable to record the run of the test.

The required number of shipment items or unpacked articles in the state and form in which they are designated for transportation has to be laid down as close as possible to each other on the grate. If directional effects are expected, then the packages or the articles have to be oriented in a way maximising the probability of hit-

świadki. Ekran obserwacyjny powinien być ustawiane pionowo z trzech stron stanowiska badawczego w odległości 4 m od krawędzi sztuk przesyłki lub przedmiotów nieopakowanych.

Do oceny wyników i klasyfikacji badanych wyrobów należy zwrócić uwagę takie zjawiska jak:

- pojawienie się wybuchu masowego (wyrób zalicza się do podklasy 1.1)
- perforacja którejkolwiek płyty świadka i ich rozrzut (wyrób zalicza się do podklasy 1.2)
- kula ognia lub strumień ognia, którego rozmiar przekracza odległość na jakiej znajdują się ekrany, ognisty wystrzał wydobywający się z produktu wyrzucony na odległość większą niż 15 m od krawędzi opakowań lub rozpakowanych przedmiotów, zmierzony czas spalania produktu jest krótszy niż 35 sekund dla 100 kg masy wybuchowej netto (wyrób zalicza się do podklasy 1.3)
- kula ognia lub strumień ognia, który rozciąga się na więcej niż 1 m od płomieni ognia, ognisty wystrzał wydobywający się z produktu wyrzucony na odległość większą niż 5 m od krawędzi opakowań lub rozpakowanych przedmiotów, uszkodzenia (wcięcia) ekranów świadków większe niż 4 mm, zmierzony czas spalania produktu jest krótszy niż 330 sekund dla 100 kg masy wybuchowej netto (wyrób zalicza się do podklasy 1.4).

Na fot. 14 przedstawiono poglądowe stanowisko badawcze do testu 6(c) oraz przebieg badania. Efekty badań zostały zarejestrowane za pomocą kamery zamontowanej na dronie z pułapu około 50 m oraz kamerami naziemnymi w odległości 100 m od stanowiska. Dla testu 6(c) na fot 14 zaznaczone też zostały odległości A, B i C, które wskazują fragmenty płyt świadków rozrzuconych na skutek wybuchu na

ting into the witness plates. The observation screens have to be put vertically on three sides of the testing set-up at the distance of 4 m from the edge of the shipment items or unpacked articles.

At evaluation of results and classification of tested articles the attention has to be paid to following effects:

- The presence of mass explosion (the article falls into subclass 1.1)
- Perforation of any witness plate and their scattering (the article falls into subclass 1.2)
- Fireball or a jet of fire with dimension exceeding the distance at which the screens were put, or a fire shot originating from the product which is projected at the distance above 15 m from the edge of packages or unpacked items, the measured time of product burning is shorter than 35 seconds for 100 kg of explosive net mass (the article falls into subclass 1.3)
- Fireball or a jet of fire spreading for more than 1 m from the fire flames, or a fire shot originating from the product which is projected at the distance above 5 m from the edge of packages or unpacked items, damages (cuts) of witness plates greater than 4 mm, the measured time of product burning is shorter than 330 seconds for 100 kg of explosive net mass (the article falls into subclass 1.4).

Photo 14 demonstrates a testing set-up for test 6(c) and the effects of testing. The results of tests were recorded by a drone on the height of ca. 50 m and by on-ground cameras placed at the distance of 100 m from the set-up. For test 6(c) in Photo 14 the distances A, B and C were also marked to indicate the fragments of witness plates thrown away by the explosion to distances between 50 to 75 m.

odległości od 50 do 75 m. Badaniu poddane były 4 kartony wyrobów pirotechnicznych klasy F3, które zgodnie z klasyfikacją wykonaną na zlecenie producenta nie powinny powodować wybuchu masowego.

3.4. Test 6(d) – próba nieograniczonego opakowania

Test 6(d) jest przeprowadzany na pojedynczej przesyłce w celu ustalenia, czy na zewnątrz przesyłki występują niebezpieczne skutki wynikające z przypadkowego zapłonu lub zainicjowania zawartości. Test wykonuje się wykorzystując zapalnik do zainicjowania przemiany wybuchowej substancji lub przedmiotu oraz blachę ze stali miękkiej o grubości 3 mm służącą jako płytkę kontrolna (płytkę świadek). Decyzja o zastosowaniu bodźca inicjującego zależy od tego jaki własny środek inicjujący lub zapalający ma badany wyrób.

Próbie poddawane są sztuki przesyłki z artykułami wybuchowymi w stanie i postaci, w jakiej są oferowane do przewozu. W przypadku, gdy artykuły wybuchowe są klasyfikowane bez opakowania, do testu należy zastosować artykuły nieopakowane.

Sztuka przesyłki umieszczana jest na stalowej płycie świadku na gruncie bez obsypywania ziemią. Podczas badania prowadzone są obserwacje: wgniecenia lub perforacje płytki kontrolnej pod sztuką przesyłki, błysk lub płomień mogący zapalić sąsiedni materiał, rozzerwanie sztuki przesyłki powodujące wyrzucenie zawartości materiału wybuchowego lub pełna perforacja opakowania.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono jakie mogą być skutki niewłaściwego postępowania z materiałami pirotechnicznymi. Przedstawione przykłady obrazują jakie niszczące działanie powoduje niewłaściwe eksploataowanie wyrobów pi-

There were tested 4 cardboard packages of pyrotechnic articles of class F3, which have not cause any mass explosion, according to classification performed under the manufacturer's commission.

3.4. Test 6(d) – Test of Unlimited Packing

Test 6(d) is performed for an individual shipment packing to establish if there are any dangerous effects outside the packing caused by a casual ignition or initiation of its content. The test is performed using a fuse for initiation of explosive reaction of the substance or an article, and a sheet of soft steel with thickness of 3 mm as a checking plate (witness plate). Decision about the use of initiating stimuli depends on the initiating or igniting system owned by the tested article.

The test is carried out for shipment items containing explosive articles in the state and form in which they are offered to transportation. In the case when the explosive articles are classified without any packing then the unpacked articles have to be used for testing.

The item of shipment is put on a steel witness plate laid down on the ground without walling it in with the soil. Following observations are made at the test: indentations or perforations of the checking plate under the shipment item, flash or flame which could ignite the adjacent material, bursting out of item of the shipment with ejection of the content of explosive material, or complete perforation of package.

4. Summary

Some results of improper handling with the pyrotechnic materials are presented in the paper. Presented examples illustrate the destructive action of pyrotechnic articles caused by their wrong use. Despite the

rotechnicznych. Pomimo świadomości o możliwości wystąpienia takich wypadków, często producenci, dystrybutorzy jak i sami użytkownicy podchodzą w sposób lekceważący do pirotechniki, nie postępując z wystarczającą ostrożnością jaka powinna być stosowana dla materiałów wybuchowych. Osoby mające styczność z wyrobami pirotechnicznymi często zapominają, że ze względu na łatwość inicjacji, materiały te często stwarzają większe zagrożenie niż tradycyjne materiały wybuchowe (kruśzące lub miotające). W wielu z przedstawionych przypadków wybuch masowy spowodowany nieintencyjnym zainicjowaniem materiałów pirotechnicznych wynikał z błędów ludzkich, jak również z powodu niewystarczających zabezpieczeń oraz infrastruktury produkcyjno-magazynowej nie spełniającej wymagań do pracy z materiałami wybuchowymi. Większa świadomość użytkowników w zakresie wrażliwości na bodźce inicjujące oraz potencjalnych skutków zadziaływania materiałów i wyrobów pirotechnicznych, mogłaby wpłynąć na postępowanie z tymi wyrobami w sposób bardziej odpowiedzialny i przynajmniej niektórych wypadków dało by się uniknąć.

Ze względu na fakt, iż wyroby pirotechniczne użytkowane w Polsce pochodzą w wielu przypadkach od producentów zagranicznych, nie zawsze spełniają one odpowiednie normy jakości wytwarzania. Jako jednostka opiniująca i certyfikująca wyroby pirotechniczne WITU niejednokrotnie odnotowało sytuacje, w których konstrukcja wyrobów nie jest zgodna z deklaracjami zawartymi na etykietach wyrobów oraz danymi producenta zawartymi w dokumentacji technicznej. Szczególnie groźne dla bezpieczeństwa transportu i magazynowania jest zaniżanie zawartości netto materiału pirotechnicznego w wyrobach. Zabieg taki pozwala na redukcję kosztów związanych z transportem, jednak stwarza niebezpieczeństwo w przypadku pożaru ładunku, który może

awareness of such accidents, the manufacturers, distributing personnel and the users alone often treat the pyrotechnics with disrespect, instead of acting in a careful way which must be applied for explosive materials. Persons dealing with pyrotechnic articles often forget that due to easy initiation these materials can pose a greater threat than traditional explosive materials (high explosive or propelling). In many cases of presented accidents the mass explosion caused by unintentional initiation of pyrotechnic materials resulted from human errors, and insufficient safety protections, and also production-magazine infrastructure which missed the requirements for explosive materials. The greater awareness of users on sensitivity to initiating stimulations and about potential effects of activation of pyrotechnic materials and articles could make the handling with these articles become more responsible and at least some of the accidents avoided.

Because the pyrotechnic articles used in Poland originate in many cases from foreign manufacturers they not necessarily comply with relevant quality standards at manufacture. The Military Institute of Armament Technology (MIAT) is an evaluating and certifying institution and for many times it noted circumstances of noncompliance between the design of articles and declarations included in the labels of the articles, and the data provided by the manufacturer in technical documentation. A diminishment of the net content of pyrotechnic material in the articles is especially dangerous for the safety of transportation and storing. Such procedure allows for reduction of costs connected with the transportation, but they create a danger in the case of shipment's fire what can end in a mass explosion. In respect to this it is nec-

doprowadzić do wybuchu masowego. W związku z tym konieczne jest wykonywanie testów serii 6 mających na celu ocenę potencjalnych zagrożeń jakie stwarzają wyroby pirotechniczne. Dzięki tym badaniom możliwa jest prawidłowa weryfikacja czy skutki potencjalnej niezamierzonej inicjacji pojedynczych artykułów pirotechnicznych ograniczą się do pojedynczych opakowań, czy zostaną przeniesione na kolejne doprowadzając do wybuchu masowego.

essary to perform the tests on series 6 which are designed for evaluation of potential threats posed by the pyrotechnic articles. These tests can verify properly if the effects of a potential unintended initiation of individual pyrotechnic articles are limited to individual packages, or can be transferred into neighbouring ones to trigger a mass explosion.

Literatura / Literature

- [1] Korzun M., *1000 słów o materiałach wybuchowych*, MON, Warszawa 1983, s. 112.
- [2] Witkowski W., Maranda A., Szymańczyk L., Żmuda W., Wyroby pirotechniki widowiskowej jako szczególne towary rynkowe, *Chemik*, 2012, 66, 1, 64-72.
- [3] Urbański J., *Chemia i technologia materiałów wybuchowych*, skrypt wyższej szkoły inżynierskiej im. K. Pułaskiego w Radomiu, 1992
- [4] DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2013/29/UE z dnia 12 czerwca 2013 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku wyrobów pirotechnicznych.
- [5] Ajith S., Sivapragasam C., Arumugaprabu V., A review on hazards and their consequences in firework industries, *SN Applied Sciences*, 1 (1) (2019), 1-6.
- [6] McIntyre F. L., Rindner R. M., *A Compilation of Hazard and Test Data for Pyrotechnic Compositions*, Defense Technical Information Center 1979.
- [7] M Surianarayana, SP Sivapirakasam, and G Swaminathan Accident data analysis and hazard assessment in fireworks manufacture, *Sci. Tech. Energetic Materials*, Vol.69, No.6, 2008
- [8] Rajaram S., Sivakumar G.D., Assessment of safety culture in fireworks industry. *International journal of occupational safety and ergonomics*, (2022),1-18.
- [9] Prabavathi R., Nandhini K., Subhash K., Kumar R.. Analysis and Prediction of Industrial Accidents Using Machine Learning. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29, (04) (2020), 4990-5000.
- [10] Anand Nagar, Machine learning approach on risk assessment for explosion avoidance in firework industries, Kalasalingam Academy of Research and Education, praca doktorska, 2022.
- [11] Indumathi Nallathambi, Padmaja Savaram, Sudhakar Sengan, Meshal Alharbi, Samah Alshathri, Mohit Bajaj, Moustafa H. Aly, Walid El-Shafai, Impact of Fireworks Industry Safety Measures and Prevention Management System on Human Error Mitigation Using a Machine Learning Approach, *Sensors* 2023, 23, 4365.
- [12] Katoria D., Mehta D., Sehgal D., Kumar S., A review of risks to workers associated with fireworks industry. *International Journal of Environmental Engineering and Management*, 4 (3) (2013), 259-264
- [13] Vijayakumar A., Veerasimman A., Ramar R., Shanmugavel R., Nallathambi R., I. Fireworks hazards and its consequences—A brief analysis. *Materials Today: Proceedings*. (2021).
- [14] Indumathi N., Ramalakshmi R., Ajith V., Analysis of risk factors in the Firework Industries:

- Using Decision Tree Classifier, International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE), 2021.
- [15] Sivapirakasam S.P., Surianarayanan M., Swaminathan G., Hazard assessment for the safe storage, manufacturing and handling of flash compositions, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22 (2009), 254–256.
- [16] Kasprzak P., *Przeciwdziałanie zagrożeniom wynikającym z użycia ładunków wybuchowych wykonanych z elementów dostępnych w sprzedaży niekoncesjonowanej*, monografia, 2022.
- [17] <http://stevenkeijzer.nl/enschede/after2.htm> [data dostępu: 18.02.2023].
- [18] <https://www.ad.nl/binnenland/oud-eigenaar-s-e-fireworks-is-gebroken-man-wanneer-houdt-dit-op~a9201d9c/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F/> [data dostępu: 18.02.2023].
- [19] <https://www.tubantia.nl/enschede/wat-na-de-ramp-blijft-zijn-de-lijnen-van-roombeek~abe01136/> [data dostępu: 18.02.2023].
- [20] <https://www.dw.com/en/india-fireworks-factory-explosion-kills-21/a-50287241> [data dostępu: 18.02.2023].
- [21] <http://www.mgrtv.com/102-killed-280-injured-massive-fire-puttingal-temple-kerala-cm.html> [data dostępu: 18.02.2023].
- [22] <https://timesofindia.indiatimes.com/city/thiruvananthapuram/kollam-temple-fire-death-toll-reaches-111-40-badly-wounded/articleshow/51795419.cms> [data dostępu: 18.02.2023].
- [23] <https://www.herald.co.zw/dozens-killed-in-temple-fireworks-accident/> [data dostępu: 18.02.2023].
- [24] <https://www.bbc.com/news/world-asia-india-36008741> [data dostępu: 18.02.2023].
- [25] <https://www.wsws.org/en/articles/2021/02/18/indi-f18.html> [data dostępu: 18.02.2023].
- [26] http://www.xinhuanet.com/english/2021-02/12/c_139739796.htm [data dostępu: 18.02.2023].
- [27] <https://www.aljazeera.com/news/2021/2/12/explosions-in-indian-fireworks-factory-kill-11-injure-34> [data dostępu: 18.02.2023].
- [28] <https://www.dw.com/en/turkey-fireworks-factory-explosion-kills-several-injures-nearly-100/a-54042927> [data dostępu: 18.02.2023].
- [29] <https://www.aysor.am/en/news/2020/07/03/turkey-fireworks/1716361> [data dostępu: 18.02.2023].
- [30] <https://www.thestar.com/news/world/2016/12/21/deadly-mexico-fireworks-blast-hit-market-packed-for-holidays.html> [data dostępu: 18.02.2023].
- [31] <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-38387239> [data dostępu: 18.02.2023].
- [32] <https://www.dw.com/en/explosion-at-mexican-fireworks-factory-kills-dozens-near-mexico-city/a-44547957> [data dostępu: 18.02.2023].
- [33] <https://www.youtube.com/watch?v=z5XjN7Lgl64>, Newsweek [data dostępu: 18.02.2023].
- [34] https://www.voanews.com/a/east-asia-pacific_voa-news-china_nitrocotton-blamed-fireworks-factory-explosion-china/6192546.html [data dostępu: 18.02.2023].
- [35] <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8505403/Massive-explosion-Chinese-firecracker-factory-sends-huge-mushroom-cloud-the.html> [data dostępu: 18.02.2023].
- [36] <https://newseu.cgtn.com/news/2020-07-09/Explosion-in-China-firecracker-factory-RY8Bu9eNbO/index.html> [data dostępu: 18.02.2023].
- [37] <https://zachodniemazowsze.info/2017/01/7820/> [data dostępu: 18.02.2023].
- [38] <https://wiadomosci.dziennik.pl/wydarzenia/artykuly/539145,mazowieckie-17-jednostek-strazy->

- gasi-pozar-budynku-w-lomiankach-fajerwerki.html. [data dostępu: 18.02.2023].
- [39] https://www.rmfm24.pl/fakty/polska/news-eksplozja-fajerwerkow-w-lomiankach-na-jutro-zaplanowano-sekc,nId,2331943#crp_state=1 [data dostępu: 18.02.2023].
- [40] <https://gs24.pl/po-wybuchu-w-osinowie-dolnym-stracili-dorobek-zycia-otrzymali-pomoc/ar/9888916> [data dostępu: 18.02.2023].
- [41] <https://www.tvp.info/24636987/wybuch-w-osinowie-dolnym> [data dostępu: 18.02.2023].
- [42] Kadry z nagrania <https://www.youtube.com/watch?v=c4MvUQ3TcCo> [data dostępu: 18.02.2023].
- [43] <https://gs24.pl/wybuch-w-swinoujsciu-eksplozowal-stragan-z-fajerwerkami/ar/9230557> [data dostępu: 18.02.2023].
- [44] <https://gs24.pl/wybuch-w-swinoujsciu-eksplozowal-stragan-z-fajerwerkami/ga/9230557/zd/16528085> [data dostępu: 18.02.2023].
- [45] https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/manual/Rev7/Manual_Rev7_E.pdf

