

*Materiały Wysokoenergetyczne / High Energy Materials*, 2017, 9, 126 – 135; DOI: 10.22211/matwys/0150  
ISSN 2083-0165

Copyright 2017 © Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

## **Praca doświadczalna / Research paper**

# **Badanie poziomu ciśnienia akustycznego generowanego podczas używania wybranych wyrobów pirotechnicznych widowiskowych**

## **The study of sound pressure level generated by selected fireworks**

**Leszek Szymańczyk,<sup>\*)</sup> Andrzej Maranda**

*Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii,  
ul. Gen. W. Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa, PL*

*\*E-mail: leszek.szymanczyk@wat.edu.pl*

**Streszczenie:** *W pracy przedstawiono stanowisko badawcze i podstawy teoretyczne pomiaru ciśnienia akustycznego. Zestawiono wyniki badań ciśnienia akustycznego generowanego w wyniku stosowania wytypowanych wyrobów pirotechniki widowiskowej: bączków, rzymskich ogni, petard i baterii.*

**Abstract:** *The paper presents the research and theoretical basis of measuring acoustic pressure. It summarizes the results of the sound pressures generated by typical fireworks: ground spinners, Roman candles, bangers and batteries.*

**Słowa kluczowe:** *pirotechnika widowiskowa, ciśnienia akustyczne, hałas*

**Keywords:** *fireworks, acoustic pressure, noise*

### **1. Wstęp**

Zmiany wymuszone w przepisach prawnych Państw UE przez wprowadzenie Dyrektywy 2007/23/WE z dnia 23.05.2007 r. (zastąpiona dnia 12.06.2013 r. przez Dyrektywę 2013/29/UE), obejmują szeroki zakres wymagań wpływających na bezpieczeństwo użytkownika wyrobów pirotechnicznych [1, 2]. Jednakże zdecydowana większość wymagań Dyrektywy ma charakter ogólnikowy. Precyzyjnie określono jedynie: ograniczenia wiekowe, bezpieczną odległość użytkownika oraz poziom hałasu wytwarzanego podczas działania wyrobu. Wyroby pirotechniczne widowiskowe (WPW) podzielone zostały na cztery klasy. Uzależnione jest to od sposobu użytkowania, przeznaczenia, zagrożenia i poziomu hałasu, który nie powinien przekraczać poziomu szkodliwego dla ludzkiego zdrowia.

**Klasa 1:** wyroby pirotechniczne widowiskowe o bardzo niskim stopniu zagrożenia i nieistotnym poziomie hałasu przeznaczone do użytku na obszarach zamkniętych, w tym wyroby pirotechniczne widowiskowe przeznaczone do użytku w budynkach mieszkalnych;

**Klasa 2:** wyroby pirotechniczne widowiskowe o niskim stopniu zagrożenia i niskim poziomie hałasu przeznaczone do użytku na zewnątrz na obszarach zamkniętych;

**Klasa 3:** wyroby pirotechniczne widowiskowe o średnim stopniu zagrożenia przeznaczone do użytku na zewnątrz na dużych otwartych przestrzeniach i których poziom hałasu nie jest szkodliwy dla zdrowia ludzkiego;

**Klasa 4:** wyroby pirotechniczne widowiskowe o wysokim stopniu zagrożenia przeznaczone do obsługi wyłącznie przez osoby o wiedzy specjalistycznej, zwane popularnie „wyrobami pirotechnicznymi widowiskowymi do

zastosowań profesjonalnych” i których poziom hałasu nie jest szkodliwy dla zdrowia ludzkiego.

Poszczególne klasy wyrobów pirotechnicznych widowiskowych muszą dodatkowo spełniać następujące wymagania:

a) Klasa 1:

- bezpieczna odległość od wyrobu musi wynosić co najmniej 1 m. Jednakże w stosownych przypadkach może ona być mniejsza,
- maksymalny poziom hałasu nie może przekraczać 120 dB (charakterystyka korekcyjna A ( $L_{Amax}$ )), lub równoważnego poziomu hałasu mierzonego w bezpiecznej odległości,
- klasa 1 nie może zawierać petard, petard błyskowych oraz ich baterii.

b) Klasa 2:

- bezpieczna odległość od wyrobu musi wynosić co najmniej 8 m, jednakże w stosownych przypadkach może ona być mniejsza,
- maksymalny poziom hałasu nie może przekraczać 120 dB (charakterystyka korekcyjna A ( $L_{Amax}$ )), lub równoważnego poziomu hałasu mierzonego w bezpiecznej odległości.

c) Klasa 3:

- bezpieczna odległość od wyrobu musi wynosić co najmniej 15 m, jednakże w stosownych przypadkach może ona być mniejsza,
- maksymalny poziom hałasu nie może przekraczać 120 dB (charakterystyka korekcyjna A ( $L_{Amax}$ )), lub równoważnego poziomu hałasu mierzonego w bezpiecznej odległości.

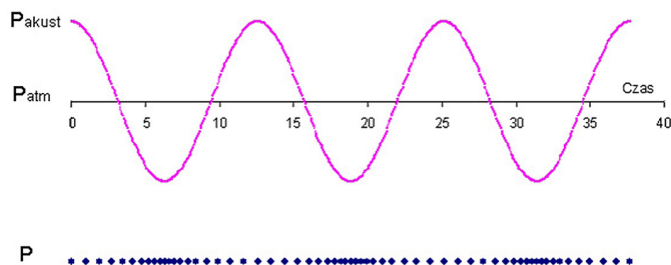
d) Klasa 4 nie ma sprecyzowanych wymagań za wyjątkiem wymogu spełnienia podstawowych zasad bezpieczeństwa podczas użytkowania i działania.

Wymagania dotyczące klas 1, 2 i 3 znalazły odzwierciedlenie w szeregu norm serii PN-EN 14035 (od października 2010 r. zastąpionych normami PN-EN 15947), zawierających bardzo szczegółowe informacje dotyczące budowy, parametrów działania oraz metod badania poszczególnych rodzajów wyrobów pirotechnicznych widowiskowych [3]. Spełnienie wszystkich rygorów zawartych w normach umożliwia wprowadzenie wyrobu na rynek wspólnoty.

## 2. Teoria pomiarów dźwięku

Aby prawidłowo interpretować uzyskane wyniki pomiarów, niezbędna jest podstawowa wiedza na temat rozchodzenia się i pomiarów hałasu [4-6]. Dźwięk jest to wrażenie słuchowe (dźwiękowe) wywołane zaburzeniem falowym. Do powstania dźwięku potrzebne są trzy składniki: źródło dźwięku, przewodnik dźwięku i odbiornik (ucho słuchającego). W przypadku wyrobów pirotechnicznych źródłem dźwięku jest spalająca się mieszanina pirotechniczna i/lub rozrywana obudowa wyrobów. Przewodnikiem zaś jest powietrze. Z fizycznego punktu widzenia dźwięk to zaburzenie stanu mechanicznego ośrodka, które rozchodzi się w tym ośrodku (w postaci fali) i zdolne jest wywołać wrażenie słuchowe (tzn. drgania o częstotliwości zawartej w przedziale od 16 Hz do około 20 kHz). Dźwięki o wyższej częstotliwości nazywa się ultradźwiękami, o niższej infradźwiękami.

Cechą charakterystyczną tego zjawiska jest przenoszenie energii bez przenoszenia masy. Definicja natężenia dźwięku w określonym miejscu powierzchni, do której dociera fala akustyczna (fala dźwiękowa, dźwięk) określa energię docierającą do tego miejsca w przestrzeni. Zatem fala akustyczna niesie energię. Energia ta dociera do ustalonej przez nas powierzchni. Na powierzchnię tę wywiera oddziaływanie i przekazuje energię. Ilość energii docierającej w jednostce czasu do jednostkowej powierzchni, nazywamy natężeniem dźwięku lub natężeniem fali akustycznej. Zależy ono od amplitudy fali ciśnienia docierającej do określonego miejsca przestrzeni. Obrazowo zmiany ciśnienia wywołane przez źródło dźwięku można przedstawić wykresem jak na rys. 1.



**Rys. 1.** Zmiany ciśnienia w powietrzu jako fali akustycznej

Ciśnienie atmosferyczne – 1013 hPa = 101 300 Pa

Ciśnienie akustyczne – 20  $\mu$ Pa – 200 Pa

Natężenie dźwięku wyraża się wzorem:

$$I = \frac{\Delta E}{\Delta S \cdot \Delta t} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (1)$$

gdzie:  $\Delta E$  – ilość energii docierającej do powierzchni;  $\Delta S$  – element powierzchni;  $\Delta t$  – czas, w którym energia jest mierzona.

Z uwagi na właściwości ucha ludzkiego konieczne okazało się wprowadzenie wielkości nazywanej poziomem natężenia dźwięku oznaczonej literą  $L_p$ .

$$L_p = 10 \log(p/p_0)^2 = 20 \log(p/p_0) \text{ [dB]} \quad (2)$$

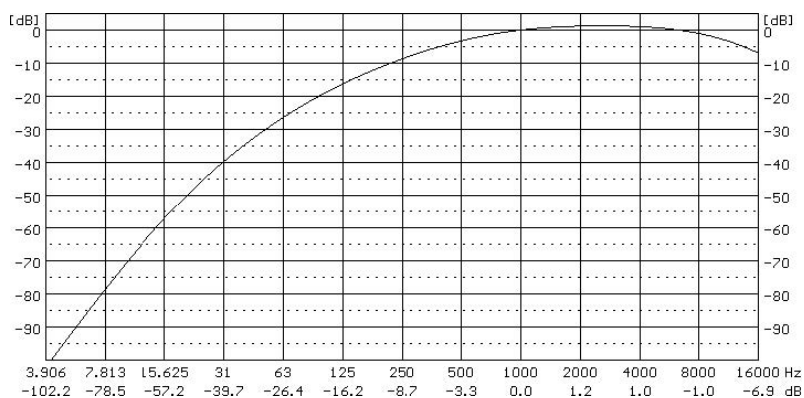
Poziom odniesienia –  $p_0 = 20 \cdot 10^{-6}$  Pa.

W tabeli 1 przedstawiono orientacyjne wartości ciśnienia akustycznego i natężenia dźwięku dla różnych źródeł dźwięku.

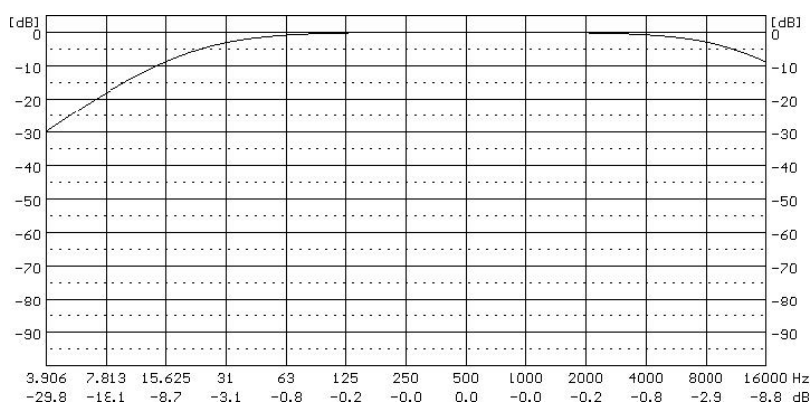
**Tab. 1.** Ciśnienie akustyczne i natężenie dźwięku dla różnych źródeł dźwięku

Ciśnienie akustyczne	Źródło dźwięku	Natężenie dźwięku [W/m <sup>2</sup> ]
20 $\mu$ Pa = 0 dB	próg słyszenia	$10^{-12}$
200 $\mu$ Pa = 20 dB	szept	$10^{-10}$
2 mPa = 40 dB	szelest liści	$10^{-8}$
20 mPa = 60 dB	rozmowa	$10^{-6}$
200 mPa = 80 dB	hala produkcyjna	$10^{-4}$
2 Pa = 100 dB	maszynownia statku	$10^{-2}$
20 Pa = 120 dB	młot pneumatyczny	$10^0$
2 hPa = 140 dB	silnik odrzutowy	$10^2$
20 hPa = 160 dB	wystrzał artyleryjski	$10^4$

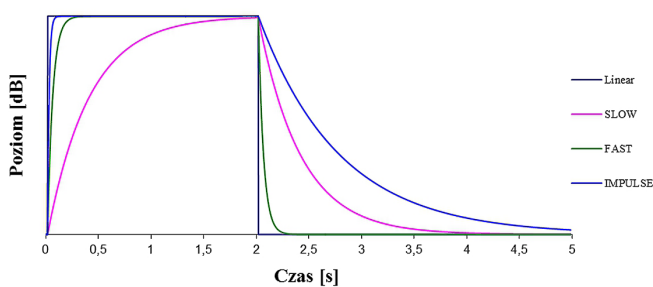
W rzeczywistości w przyrodzie występują dźwięki złożone, będące sumą nakładających się na siebie sinusoid. Ze względu na skomplikowanie budowy narządu słuchu u człowieka oraz różnorodność oddziaływania dźwięku na ucho, stosuje się urządzenia mogące mierzyć dźwięk w zależności od jego rodzaju, źródła pochodzenia i czasu oddziaływania. Dlatego też, stosowane są filtry wprowadzające charakterystykę korygującą A lub C (rys. 2 i 3). A także różne charakterystyki czasowe:  $F$ ,  $S$ , Impuls (rys. 4).



Rys. 2. Charakterystyka filtra A



Rys. 3. Charakterystyka filtra C



Rys. 4. Stałe czasowe stosowane w pomiarach dźwięku i ramki

### 3. Stanowisko badawcze

Metoda pomiaru hałasu opisana w poszczególnych normach [3], zawiera wymagania dotyczące:

- urządzenia pomiarowego stosowanego w badaniach,
- miejsca prowadzenia badań oraz odległości miernika poziomu dźwięku od punktu badań,
- metodyki pomiaru dźwięku (filtr, stała czasowa),
- warunków atmosferycznych w jakich można prowadzić pomiar.

Pomiary poziomu ciśnienia akustycznego wymagane są dla wszystkich rodzajów wyrobów pirotechnicznych.

Do najważniejszych należą: baterie i kombinacje, petardy, rzymskie ognie, motylki i bączki. Pomiar ten wykonuje się wykorzystując miernik klasy 1. Według norm PN-EN 15947 musi on spełniać wymagania zawarte w normach [7, 8].

Mierzona wartość poziomu ciśnienia akustycznego to maksymalny poziom hałasu uzyskany przy charakterystyce częstotliwościowej  $A$  i stałej czasowej  $I$  (impulsowej). Placem do badań powinien być teren na wolnym powietrzu, na poziomie gruntu, o promieniu wynoszącym, co najmniej 16 m, z gładką, utwardzoną, poziomą, odbijającą fale dźwiękowe, niepalną powierzchnią (na przykład betonową). Jeżeli jest konieczne, należy urządzić w środku placu badań, miejsce do częściowego zagłębienia (wkładania) w grunt badanego wyrobu. Wokół środka placu badań należy oznaczyć okrąg:

- a) o promieniu 1,0 m dla wyrobów klasy 1,
- b) o promieniu 8,0 m dla wyrobów klasy 2,
- c) o promieniu 15,0 m dla wyrobów klasy 3.

Należy ustawić mikrofon miernika poziomu dźwięku na placu badań, na wysokości 1,0 m nad ziemią, w odległości – w kierunku poziomym od badanego wyrobu – wynoszącej 1,0 m dla wyrobów klasy 1, 8,0 m dla wyrobów klasy 2 lub 15,0 m dla wyrobów klasy 3. Skierować mikrofon poziomo w kierunku punktu badań. Wszelkie pomiary dokonywać przy prędkości wiatru nie przekraczającej 5 m/s. Na rys. 5 przedstawiono miernik poziomu dźwięku na stanowisku badawczym.



Rys. 5. Miernik poziomu dźwięku na stanowisku badawczym

## 4. Wyniki pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego WPW

Uzyskane podczas badań wartości poziomu ciśnienia akustycznego otrzymano stosując charakterystykę częstotliwościową  $A$  i stałą czasową  $I$ . Do pomiarów zastosowano urządzenie klasy 1 firmy Svantek, model Svan 945A z mikrofonem  $\frac{1}{2}$  cala model 40AN firmy G.R.A.S. Teren badań znajdował się na płaskiej gliniasto-piaszczystej powierzchni. Do badań wytypowano najpopularniejsze rodzaje wyrobów pirotechnicznych dostępne w handlu na terenie Polski, są to bączki, rzymskie ognie, petardy błyskowe, baterie.

### 4.1. Bączki

Bączki są wyrobami przeznaczonymi do odpalania na ziemi, składającymi się z rurki zwiniętej z tektury lub papieru, zawierającej jedną lub kilka rodzajów mieszanin pirotechnicznych. Działanie polega na wykonaniu szybkich ruchów obrotowych wraz z efektem wizualnym lub bez niego oraz dźwiękowym lub bez niego. Badaniom poddano 2 rodzaje bączków klasy 1 (JZ66 i JM04) i 1 rodzaj klasy 2 (TC10). Pomiar wykonywano

zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 15947, ustawiając miernik dźwięku w odległości 1 m od bączków klasy 1 i 8 m od bączków klasy 2. Badaniom poddano po 5 sztuk każdego wyrobu, a uzyskane wyniki zamieszczono w tabeli 2.

**Tab. 2.** Wyniki pomiarów hałasu ( $L_{A\max}$ ) wytwarzanego przez bączki [dB]

Wyrób (odległość)	JZ66 (1 m)	JM04 (1 m)	TC10 (8 m)
Pomiar 1	68,7	77,3	95,5
Pomiar 2	66,9	74,1	98,7
Pomiar 3	69,5	80,1	95,4
Pomiar 4	68,6	75,5	100,3
Pomiar 5	67,3	83,5	96,8

Wyniki pomiarów w przypadku bączków wskazują, że podczas działania wyrobów nie występuje niebezpieczny poziom hałasu. Jest to szczególnie ważne, gdyż są to wyroby odpalane dla najmłodszych dzieci, a więc szczególnie narażonych na uraz akustyczny. Wysoka wartość ciśnienia akustycznego w przypadku wyrobu TC10 jest spowodowana zawartością tzw. mieszaniny *cracklingowej*, wywołującej charakterystyczne wielokrotne trzaski podczas spalania.

#### 4.2. Rzymskie ognie

Rzymskie ognie to wyroby zbudowane z długiej rury tekturowej, w której znajdują się elementy pirotechniczne, ułożone jeden za drugim, wystrzeliwane pojedynczo. Jeden element składa się z ładunku wyrzucającego (najczęściej proch czarny) oraz modułu pirotechnicznego lub jednorodnej masy pirotechnicznej uformowanej w wytrzymałą kulę lub walec. Moduły pirotechniczne zazwyczaj zawierają mieszaninę rozrywającą. Do badań wykorzystano wyroby klasy 2 (TRC8, TRC9) oraz klasy 3 (TRC6, TRC7). Wszystkie wyroby zawierały mieszaninę rozrywającą opartą na chloranie(VII) potasu. Pomiar przeprowadzono w odległości 8 m dla wyrobów klasy 2 i w odległości 15 m dla wyrobów klasy 3. Badano po 5 sztuk wyrobu. Wyniki badań zestawiono w tabeli 3.

**Tab. 3.** Wyniki pomiarów hałasu ( $L_{A\max}$ ) wytwarzanego przez rzymskie ognie [dB]

Wyrób (odległość)	TRC8 (8 m)	TRC9 (8 m)	TRC6 (15 m)	TRC7 (15 m)
Pomiar 1	112,4	111,7	117,2	113,8
Pomiar 2	111,3	113,3	115,5	113,6
Pomiar 3	112,3	108,7	112,8	114,0
Pomiar 4	109,0	113,3	112,8	112,4
Pomiar 5	112,4	111,1	113,0	113,4

Wartości poziomu ciśnienia akustycznego w przypadku rzymskich ogni również nie przekraczają dopuszczalnych norm, jednakże wyroby klasy 3 odpalane przy mniejszych odległościach od ludzi mogą niekorzystnie oddziaływać na narząd słuchu. Znaczna różnica wartości poziomu ciśnienia akustycznego dla wyrobu TRC6 (pierwszy pomiar) jest spowodowana przypadkiem wybuchu jednego modułu na niższej wysokości niż pozostałe (około 20 m, zamiast 30-40 m). Zatem podczas odpalaniu tego typu wyrobów należy brać to pod uwagę, ponieważ nieprawidłowa budowa i spowodowany tym wybuch na niskiej wysokości (kilka metrów nad ziemią), może być przyczyną uszkodzenia narządu słuchu.

#### 4.3. Petardy

Petardy to najpopularniejsze wyroby przeznaczone do generowania huków. Pomimo zakazów prawnych, bardzo często są użytkowane przez osoby niepełnoletnie. Brak świadomości zagrożenia oraz nieliczenie się z zasadami bezpieczeństwa może być przyczyną szeregu wypadków, od obrażeń ciała do utraty słuchu wraz z paraliżem mięśni twarzy. Zdecydowana większość petard zbudowana jest z rurki zwiniętej z papieru (bardzo

rzadko występuje obudowa z tworzywa sztucznego), obustronnie zamknięta gliną, papierem lub tworzywem sztucznym. W środku umieszcza się mieszaninę pirotechniczną, która pod wpływem gwałtownego spalania wytwarza produkty gazowe rozrywające obudowę. Rozerwanie obudowy jest czynnikiem generującym huk. Petardy mogą występować w wersjach wielostrzałowych. W takim przypadku wyrób zbudowany jest tak, aby pojedyncze rozerwanie nie uszkodziło całej obudowy. Mieszanina zaelaborowana jest warstwowo, na przemian mieszaniną rozrywającą i opóźniającą.

Do badań zastosowano wyroby klas 2 i 3 (oznaczenie w tabeli 4) i tak jak poprzednie wyroby, badania poziomu ciśnienia akustycznego prowadzono z odległości odpowiednio 8 m i 15 m. Mierzono wartość  $L_{Amax}$ , czyli parametr wynikający z wymagań norm PN-EN 15947. Jest to wielkość dostosowana do jak najbardziej wiernego oddania szkodliwości dźwięku na ludzkie ucho. Dodatkowo w kilku przypadkach zarejestrowano wartość  $L_{PEAK}$ , czyli szczytowy poziom ciśnienia akustycznego. Nie daje się jej odnieść do rzeczywistego oddziaływania na ludzkie ucho, ale wpływa na wrażenia słuchowe odbiorcy (odbiór hałasu wytwarzanego wybuchającą petardą). Wartość ta jest bowiem najwyższą zarejestrowaną przez miernik wartością ciśnienia akustycznego, ale czas jej trwania może być zbyt krótki aby niekorzystnie wpłynąć na narząd słuchu. Uzyskane wyniki dla poszczególnych wyrobów zamieszczono w tabeli 4.

**Tab. 4.** Wartości pomiarów hałasu ( $L_{Amax}$ ) wytwarzanego przez petardy błyskowe

Lp.	Wyrób	$L_{Amax}$ [dB]		$L_{PEAK}$ [dB]	
		zmierzona	średnia	zmierzona	średnia
1	K301 klasa 3	116,8	117,4	136,7	138,0
		117,9		139,2	
2	SP1001 klasa 3	115,4	116,0	135,9	136,7
		115,6		136,3	
		117,1		137,9	
3	K0204 SP klasa 2	110,7	111,1	131,1	131,9
		111,5		132,6	
4	K0203 SP klasa 2	103,3	104,3	125,4	125,9
		104,5		126,0	
		105,2		126,3	
5	Piratka klasa 3	119,5	118,1	140,7 (przekroczony zakres miernika)	>139,0
		116,6		137,3	
6	TC5 klasa 3	121,4	120,8	nie mierzono	nie mierzono
		121,9			
		119,2			
7	TC15 klasa 3	118,6	116,5	nie mierzono	nie mierzono
		116,9			
		114,0			
8	TC16 klasa 3	116,4	116,5	133,9	133,9
		116,5		133,9	

Obudowa wszystkich petard wykonana jest z wielowarstwowego papieru. Jakość i sposób wykonania obudowy jest podstawowym czynnikiem wpływającym na głośność petard. Petardy 3 i 4 wykonane są z miękkiego papieru, zwiniętego w 5 do 8 warstw, niesklejonych ze sobą. Dodatkowo papier ten zwinięty jest nieściśliwie. Obudowa petardy 5, także wykonana jest z warstw nieklejonego papieru, ale bardzo ściśle. Jeśli obudowa wykonana jest z kilku warstw, które podczas spalania mieszanki mogą powoli „puchnąć” ulegając powolnemu rozrywaniu, wówczas powstały huk nie jest zbyt silny. Takie petardy są stosunkowo „ciche”. Jeśli natomiast obudowa jest wystarczająco silna by początkowo „utrzymać” produkty gazowe powstałe w pierwszej fazie spalania mieszaniny, a dopiero po pewnym czasie, pod wpływem narastającego, dużego ciśnienia ulec gwałtownemu

rozerwaniu, mamy do czynienia z dźwiękiem o dużej intensywności (głośne lub bardzo głośne petardy). Hałas wytwarzany przez niektóre egzemplarze petard charakteryzuje się poziomem ciśnienia akustycznego bliskim lub przekraczającym wartość dopuszczalną. Pamiętając, że pomiary wykonywane były w odległości 15 m, wybuch takiej petardy w odległości znacznie mniejszej, może trwale uszkodzić narząd słuchu.

#### 4.4. Baterie

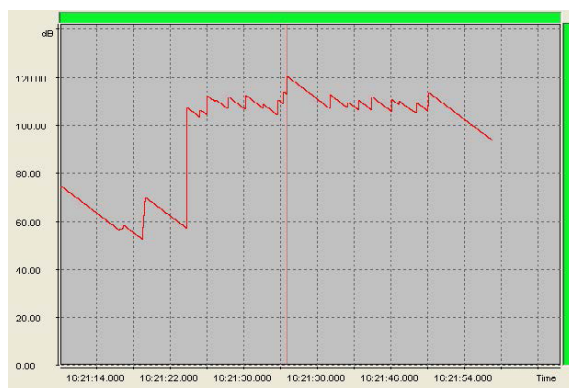
Baterie to artykuły pirotechniczne definiowane jako grupa połączonych ze sobą wyrobów tego samego typu, odpalanych jednym lontem. W handlu, nazwa ta najczęściej kojarzona jest z bateriami wyrzutni rurowych czyli jednostrzałowych rur wypełnionych mieszaninami pirotechnicznymi luzem lub w modułach pirotechnicznych. Zasada działania podobna jest do opisywanych już rzymskich ogni, jednakże wyrzucany jest tylko jeden element pirotechniczny. Badaniom poddano wyroby 2 i 3 klasy, dla których warunki pomiaru były analogiczne jak w przypadku wcześniej badanych wyrobów. Uzyskane wyniki zamieszczono w tabeli 5.

**Tab. 5.** Wartości pomiarów hałasu ( $L_{Amax}$ ) wytwarzanego przez baterie [dB]

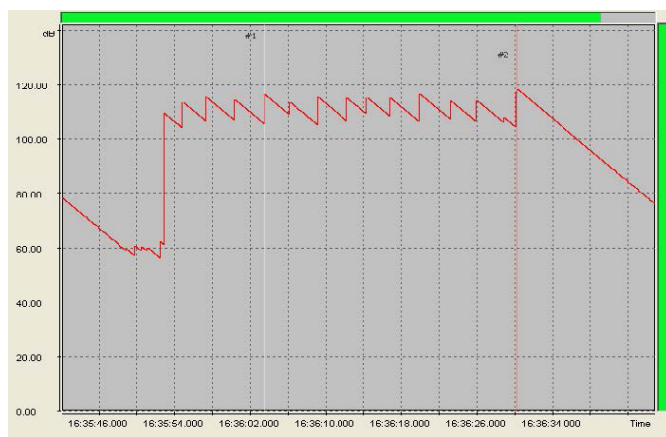
Lp.	Bateria	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4
1	TB159 (klasa 2)	109,8	106,6	108,2	102,9
2	TB6 (klasa 2)	94,1	93,1	91,8	91,2
3	TB64 (klasa 3)	121,4	123,1	122,0	117,3
4	TB161 (klasa 3)	115,1	116,7	118,0	117,2
5	TB23 (klasa 3)	112,9	112,5	113,2	114,9
6	TB58 (klasa 3)	120,9	117,8	119,7	118,6
7	P5911 (klasa 3)	118,2 (135,9)	116,6 (135,8)	–	–
8	P5605 (klasa 3)	120,1 (140,1)	–	–	–

Baterie TB159 i TB6 zawierają elementy pirotechniczne bez mieszaniny pirotechnicznej hukowej. Elementem wyrzucanym jest kula z mieszaniny pirotechnicznej, spalająca się całkowicie podczas lotu w górę. Efekt huku wywołany jest jedynie wystrzałem z wyrzutni rurowej oraz w przypadku baterii TB159, trzeszczącą w trakcie lotu elementu, mieszaniną *cracklingową*. Pozostałe wyroby są bateriami, których działanie opiera się na wyrzucie w górę modułu pirotechnicznego zawierającego mieszaninę rozrywającą moduł, na zasadzie podobnej do rozerwania obudowy petardy. Dodatkowo mieszanina ta zapala znajdujące się w module kulki lub wałki z mieszanin pirotechnicznych wytwarzających efekty wizualne. W zależności od ilości mieszaniny rozrywającej, jakości wykonania modułów, a w szczególności zamknięcia końców modułu, generowana jest mniejsza lub większa wartość poziomu ciśnienia akustycznego. Bardzo często ostateczny poziom hałasu zależy od jednego lub kilku głośniejszych strzałów (na kilkadziesiąt w całym wyrobie). Takim przykładem jest bateria P5605, w której tylko jeden moduł nie wzleciał na odpowiednią wysokość i wybuchając nisko, znacząco zawyżył ostateczną wartość poziomu ciśnienia akustycznego. Jest to widoczne na przebiegach rejestracji dźwięku podczas działania wyrobu (rys. 6). Na rys. 7 przedstawiono dźwięk rejestrowany podczas działania baterii P5911, która charakteryzuje się poziomem hałasu niemal jednakowym dla każdego wybuchu (strzału). Rysunki 6 i 7 przedstawiają wartości uzyskane bezpośrednio z miernika dźwięku i zobrazowane w oprogramowaniu załączonym do urządzenia pomiarowego.





Rys. 6. Rejestracja dźwięku podczas działania wyrobu P5605



Rys. 7. Rejestracja dźwięku podczas działania wyrobu P5911

Analizując wyniki pomiarów hałasu wszystkich baterii należy zauważyć, że większość z nich spełnia wymagania bezpieczeństwa zawarte w przepisach Unii Europejskiej. Jednakże są to wyroby, które emitują hałas w długim czasie. W przeciwieństwie do petard, wybuchających tylko raz, czy nawet rzymskich ogni mających do 10 modułów hukowych odpalanych co kilka sekund, baterie wydają się być najgroźniejsze dla ludzkiego ucha. Bardzo często baterie dysponują tzw. „finałem” polegającym na równoczesnym odpaleniu kilku wyrzutni jednocześnie i wybuchu niemal w tym samym czasie, wszystkich modułów. Częstokroć moduły przeznaczone na finał działania baterii zawierają większe ilości mieszanek rozrywających. Jest to powód przekraczania dopuszczalnych norm hałasu dla tego typu wyrobów.

## 5. Podsumowanie

Po wprowadzeniu Dyrektywy 2007/23/WE jakość wyrobów pirotechnicznych widowiskowych znacząco poprawiła się. Początkowo wprowadzane normy serii PN-EN 14035 (od 2004 do 2010 r.) zastąpione zostały normami PN-EN 15947 (od września 2010 r.), w których poprawiono szereg wymagań bezpieczeństwa opierając się na skutkach badań WPW opartych o normy PN-EN 14035. Obok rozlotu odłamków największym zagrożeniem ze strony wyrobów pirotechnicznych jest wytwarzany hałas o charakterze impulsowym. Rodzaj hałasu determinuje metodykę jego pomiaru. Normy PN-EN 15947 nakazują wykonać pomiar wartości maksymalnej z charakterystyką częstotliwościową  $A$  i stałą czasową impulsową ( $L_{AImax}$ ). Autorzy artykułu

spotkali się jednak z wątpliwościami ze strony osób zajmujących się zawodowo pomiarami hałasu, co do prawidłowości tej metodyki. Dodatkowo analiza literatury czy wyników pomiarów parametrów hałasu impulsowego (uderzenie młota, strzał, wybuch petardy) dostępnych w Internecie, wskazuje na zastosowanie metodyki opartej na podawaniu wartości szczytowego poziomu dźwięku C ( $L_{Cpeak}$ ) i maksymalnego poziomu dźwięku A, ale stałej czasowej FAST ( $L_{AFmax}$ ) [9, 10].

Niezależnie od metodyki podejścia do pomiarów hałasu, bezsprzecznie należy stwierdzić szkodliwość oddziaływania WPW na narząd słuchu ludzi i zwierząt. Za szczególnie uciążliwe, a nawet niebezpieczne należy uznać baterie (od kilkunastu do kilkuset wybuchów), rzymskie ognie (do 10 wybuchów) i petardy. Uzyskane wyniki wskazują, że przypadkowe lub celowe użycie WPW zbyt blisko człowieka, może skutkować trwałym uszkodzeniem słuchu, a w skrajnych przypadkach paraliżem mięśni twarzy.

Prawidłowo użytkowane WPW nie stwarzają zagrożenia hałasem, szczególnie drobne wyroby (w tym małe petardy). Wymuszenie wzrostu jakości wyrobów pirotechnicznych poprzez badania w laboratoriach akredytowanych, kontrole uprawnionych organów państwowych (w Polsce: Państwowa Inspekcja Handlowa i Państwowa Inspekcja Pracy) oraz zwiększająca się świadomość społeczeństwa (rosnąca z roku na rok ilość informacji w mediach o prawidłowym posługiwaniu się WPW), pozytywnie wpływają na poprawę bezpiecznego dla zdrowia użytkowania WPW.

## Literatura

- [1] Dyrektywa 2007/23/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23.05.2007 w sprawie wprowadzania do obrotu wyrobów pirotechnicznych.
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/29/UE z dnia 12.06.2013 w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku wyrobów pirotechnicznych.
- [3] PN-EN 15947: Część 1, 2, 3, 4 i 5. *Wyroby pirotechniczne. Wyroby pirotechniczne widowiskowe klasy 1, 2 i 3*.
- [4] Kirpluk M. 2016. *Podstawy akustyki*. Warszawa; [www.ntlmk.com](http://www.ntlmk.com) [strona dostępna 20.12.2017].
- [5] Materiały szkoleniowe firmy Svantek, *Pomiar i analiza dźwięku*. Warszawa 2004.
- [6] Everest F. Alton, Pohlmann C. Ken. 2013. *Podręcznik akustyki*. Katowice : Sonia Draga.
- [7] PN-EN 61672-1: *Elektroakustyka. Mierniki poziomu dźwięku. Część 1: Wymagania*.
- [8] PN-EN 61672-2: *Elektroakustyka. Mierniki poziomu dźwięku. Część 2: Badania typu*.
- [9] Konopka W., Pawlaczyk-Łuszczczyńska M., Zalewski P., Miłośki J. 2002. *Ocena i analiza środowiska akustycznego u żołnierzy narażonych na hałas impulsowy*. *Medycyna Pracy* 53 (5): 391-396.
- [10] Młyński R. 2013. *Hałas impulsowy. Stosowanie ochronników słuchu*. Warszawa : CIOP-PIB; <https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/file/71775/hałas-impulsowy-ochronniki> [strona dostępna 20.12.2017].

Received: August 24, 2017

Revised: December 21, 2017

Published: December 28, 2017