



Michał SZASTOK¹

Badania porównawcze oznaczania zdolności do wykonania pracy przez dynamity i saletrole metodą bloku ołowianego i wahadła balistycznego

Streszczenie: Spośród parametrów detonacyjnych materiału wybuchowego (MW) z punktu widzenia użytkownika najbardziej istotnym jest jego „siła”, czyli zdolność do wykonania przez niego pracy. Działanie MW po detonacji w otworze strzałowym jest procesem szybkim i skomplikowanym: najpierw występuje ciśnienie detonacji powodujące zmiążdżenie skały w sąsiedztwie MW oraz powstanie spękań, następnie ciśnienie produktów detonacji powoduje rozszczelnienie spękań i urobienie skały.

W artykule przedstawiono metody oznaczania zdolności do wykonania pracy przez materiały wybuchowe do użytku cywilnego (dynamit i saletrol) stosowane w akredytowanym w Laboratorium Badań Materiałów Wybuchowych i Zapalników Elektrycznych Kopalni Doświadczalnej Barbara Głównego Instytutu Górnictwa, tj. metodę bloku ołowianego i metodę wahadła balistycznego.

Celem badań było stwierdzenie istnienia zależności między wartościami zdolności do wykonania pracy przez MW oznaczonymi przy użyciu wahadła balistycznego oraz bloku ołowianego. W rezultacie przeprowadzonych badań oraz analizy wyników wyznaczono współczynnik α -Pb, który służy do przeliczania wartości zdolności do wykonania pracy przez MW oznaczonej na wahadle balistycznym na odpowiadające jej wartości wydęcia bloku ołowianego.

Główny Instytut Górnictwa jest jedyną Jednostką Notyfikowaną Unii Europejskiej w zakresie Dyrektywy 2014/28/UE, która posiada stanowisko do wytapiania bloków ołowianych oraz aparaturę i środki do oznaczania zdolności do wykonania pracy przez MW w blokach ołowianych – metoda ta została bowiem zaniechana w innych jednostkach badawczych na rzecz badania z użyciem wahadła balistycznego i/lub testu podwodnego.

Słowa kluczowe: materiały wybuchowe, zdolność do wykonania pracy, blok ołowiany, blok Trauzla, wahadło balistyczne

¹ Główny Instytut Górnictwa – Kopalnia Doświadczalna Barbara, Mikołów; e-mail: m.szastok@gig.eu

Comparative study of anfo's and dynamite's capability to perform work determined with lead block and ballistic pendulum

Abstract: From all the detonation parameters of explosives, "strength" – the capability to perform work is the most important for the user. The detonation of explosives in the blast hole is a quick and complicated process: first there is a detonation pressure causing the crushing of the rock in the vicinity of the explosive, then the pressure of the detonation products causes the cracking of the rock.

The article presents the methods of determining the capability to perform work by explosives for civil use (dynamite and ANFO) used in the accredited Laboratory of Explosives and Electric Detonators Testing of the Experimental Mine "Barbara" of the Central Mining Institute – the lead block (Trauzl) method and the ballistic pendulum method.

The aim of the research was to determine the relationship between the values of the capability to perform the work received in a ballistic pendulum method and a lead block method. As a result of the performed tests and the analysis of the results, the α -Pb coefficient was determined, which can be used to convert the value of the capability to perform work on the ballistic pendulum to the corresponding value of the capability to perform work in the lead block.

At present, the Central Mining Institute is the only Notified Body of the European Union in the scope of Directive 2014/28 /EU, which has a station for smelting lead blocks and equipment and for determining the capability to perform work by explosives in lead blocks – this method was abandoned in other research units for testing with a ballistic pendulum and/or underwater test.

Keywords: explosives, capability to perform work, lead block, Trauzl block, ballistic pendulum

Wprowadzenie

Materiały wybuchowe (MW) do użytku cywilnego muszą spełniać wiele kryteriów, aby w praktyce mogły być stosowane do wykonywania robót strzałowych.

Materiał wybuchowy powinien posiadać (Cybulski 1971; Cook 1974):

- odpowiednie bezpieczeństwo manipulacji (tj. stopień wrażliwości na uderzenie, tarcie, temperaturę),
- dostateczną stałość w czasie składowania,
- odpowiednie właściwości użytkowe (m.in. wrażliwość na inicjowanie, siłę, prędkość detonacji itd.),
- dodatkowo do zastosowań podziemnych:
 - nieprzekrozoną ilość tlenku węgla i tlenków azotu w gazach postrzałowych MW,
 - dla kopalń węgla kamiennego – stosowny stopień bezpieczeństwa wobec metanu i pyłu węglowego.

Odpowiednia wrażliwość MW ma znaczenie podstawowe: z jednej strony MW musi być dostatecznie bezpieczny nie tylko przy normalnym, ale również przy przypadkowym niewłaściwym obchodzeniu się z nim – czego w warunkach ruchu zakładu górniczego nie da się uniknąć – a z drugiej strony MW musi być na tyle wrażliwy, by w sposób pewny można było go zainicjować przy wykonywaniu robót strzałowych.

Wymagania dotyczące odporności MW na działanie czynników zewnętrznych zostały określone w normie zharmonizowanej PN-EN 13631-1 – wrażliwość na tarcie nie mniejsza niż 80 N i wrażliwość na uderzenie większa niż 2 J mają zapewnić bezpieczeństwo podczas manipulacji MW. Brak reakcji (efekt, dźwiękowy, płomień, uwolnienie się gazu, samoogrze-

wanie MW) podczas ogrzewania MW do 75°C przez 48 godzin – ma z kolei zapewnić o stabilności termicznej MW.

Spośród parametrów detonacyjnych MW z punktu widzenia użytkownika najbardziej istotnym jest „siła” MW, czyli jego zdolność do wykonania pracy. Działanie MW po detonacji w otworze strzałowym jest procesem szybkim i skomplikowanym: najpierw występuje ciśnienie detonacji powodujące zmiążdżenie skały w sąsiedztwie MW oraz powstanie spękań, następnie ciśnienie produktów detonacji powoduje rozszczelnienie spękań i urobienie skały (Włodarczyk 1994).

Do oznaczenia zdolności do wykonania pracy przez MW w Laboratorium Badań Materiałów Wybuchowych i Zapalników Elektrycznych Kopalni Doświadczalnej Barbara stosuje się dwie metody pośrednie:

- metoda bloku ołowianego Trauzla według PN-C-86037:2000 „Materiały wybuchowe – Oznaczenie zdolności do wykonania pracy w bloku ołowianym”;
- metoda wahadła balistycznego według PN-C-86035:1999 „Materiały wybuchowe – Oznaczenie względnej zdolności do wykonania pracy za pomocą wahadła balistycznego”.

1. Cel i zakres badań

Celem badań było określenie zależności (umownie nazwanej współczynnikiem α -Pb) pomiędzy wynikami oznaczania zdolności MW do wykonania pracy na wahadle balistycznym a wynikami badania oznaczania zdolności MW do wykonania pracy w blokach ołowianych.

Zastąpienie dotychczas stosowanej metody oznaczania zdolności do wykonania pracy przy użyciu bloków ołowianych i stosowanie w badaniach MW wyłącznie metody oznaczania zdolności do wykonania pracy przy użyciu wahadła balistycznego dałoby wiele efektów ekonomicznych i czasowych.

Dla realizacji nakreślonego celu wykonano:

- serię prób oznaczania zdolności do wykonania pracy przez MW w blokach ołowianych,
- serię prób oznaczania zdolności do wykonania pracy przez MW na wahadle balistycznym,
- porównanie wyników oznaczeń wyżej wymienionymi metodami,
- określenie współczynnika α -Pb.

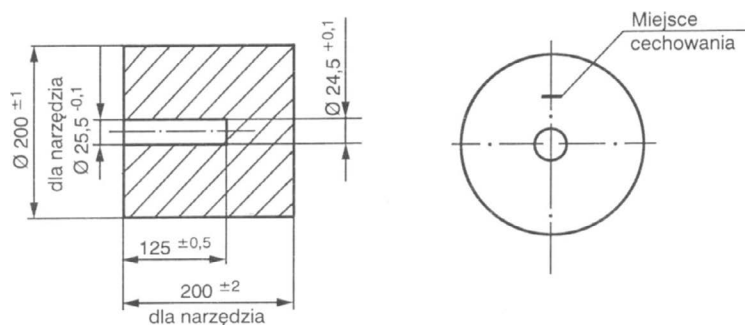
Inne parametry, dotyczące zwłaszcza bezpieczeństwa podczas manipulacji, czy wobec mieszaniny powietrza z pyłem węglowym i/lub metanem, nie były brane pod uwagę.

2. Przebieg i metody badania

2.1. Metoda bloku ołowianego

Badanie polegało na określeniu objętości w [cm³] wydęcia w bloku ołowianym o znormalizowanych wymiarach (rys. 1) spowodowanego detonacją 10-gramowego ładunku MW i przeliczeniu uzyskanej wielkości wydęcia na warunki normalnego bloku ołowianego w celu wyeliminowania wpływu temperatury i jakości bloków ołowianych na wynik oznaczenia. Dla tej metody zdefiniowano:

- normalne wydęcie w bloku ołowianym – objętość wydęcia bloku ołowianego, w którym przy temperaturze 15°C detonacja 10-gramowego ładunku kwasu pikrynowego (jako wzorca) powoduje wydęcie 310 cm³,
- wydęcie bloku ołowianego – przyrost objętości otworu (również znormalizowanego) w bloku ołowianym, spowodowany detonacją badanego MW.



Rys. 1. Wymiary bloku ołowianego

Fig. 1. Dimensions of the lead block

Dla oznaczenia siły MW za pomocą metody bloku ołowianego przygotowano następujące ładunki:

- ładunki porównawczego MW – jako porównawczy MW stosowano kwas pikrynowy czysty przekrystalizowany z wody, wysuszony, o temperaturze topnienia nie mniejszej niż 120°C, przechodzący przez sito o boku oczka kwadratowego 0,6 mm i pozostający na sicie o boku oczka kwadratowego 0,2 mm; do badania stosowano ładunki kwasu pikrynowego o masie $(10 \pm 0,1)$ g zaprasowane do gęstości 0,85 g/cm³,
- ładunki badanego MW – jako podstawowy stosowano ładunek 10-gramowy.

Każdą serię oznaczeń wykonano w blokach ołowianych pochodzących z jednego wytopu. Przeznaczone do badań bloki ustawiono w zamkniętym pomieszczeniu strzałowym i przetrzymywano do momentu wyrównania ich temperatury z temperaturą otoczenia. Przed odstrzałem zmierzono pierwotną objętość otworów w blokach za pomocą wykalibrowanej biurety i cylindra. Ładunki badanego i wzorcowego MW uzbrojono spłonką ZnT z lontem

prochowym. Następnie uzbrojony ładunek MW umieszczono w otworze bloku, a pozostałą część otworu wypełniono suchym piaskiem. Po odstrzeleniu ładunku wewnątrz otworu oczyszczono i zmierzono objętość.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny przez blok ołowiany – przed odstrzałem

Fig. 2. Cross section of lead block – before a test



Rys. 3. Przekrój poprzeczny przez blok ołowiany – po odstrzale

Fig. 3. Cross section of lead block – after a test

Objętość wydęcia (V_0) i (V_X) w [cm^3] uzyskanego w warunkach badania obliczono przez odjęcie pierwotnej objętości otworu w bloku ołowianym (V_P) od zmierzonej objętości otworu powstałego wskutek detonacji MW (V_{01}) i (V_{X1}) według wzorów (1) i (2):

$$V_0 = V_{01} - V_P \quad (1)$$

$$V_X = V_{X1} - V_P \quad (2)$$

gdzie:

- V_0 – wielkość wydęcia w bloku powstałego wskutek detonacji porównawczego MW [cm^3],
- V_X – wielkość wydęcia w bloku powstałego wskutek detonacji badanego MW [cm^3],
- V_P – pierwotna objętość otworu w bloku ołowianym [cm^3].

Wyniki pomiarów przeliczono do warunków normalnego bloku ołowianego według wzoru (3), uzyskując względną zdolność do wykonania pracy badanego MW:

$$V = \frac{310 \cdot V_y}{V_Z} \quad (3)$$

gdzie:

- V_Y – średnia arytmetyczna (V_X) z wydęcia w bloku powstałego wskutek detonacji badanego MW [cm^3],
- V_Z – średnia arytmetyczna (V_0) z wydęcia w bloku powstałego wskutek detonacji porównawczego MW [cm^3].

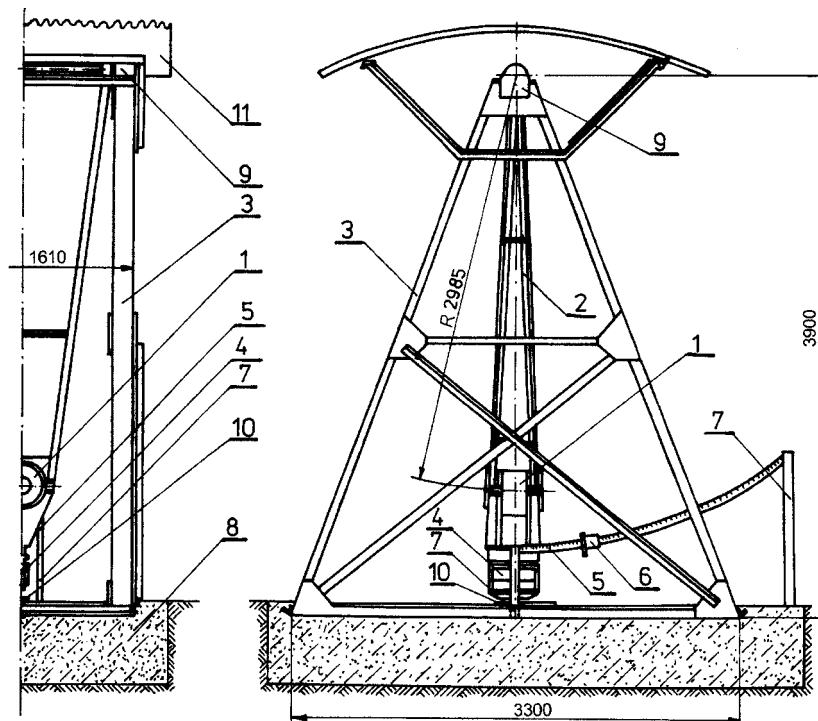
2.2. Metoda wahadła balistycznego

Oznaczanie na wahadle balistycznym polegało na pomiarze wychylenia wahadła (rys. 4) spowodowanego odstrzałem określonego ładunku badanego MW i porównaniu go z wychyleniem wahadła po odstrzale ładunku wzorcowego MW (heksogenu) w podobnych warunkach.

Rodzaje ładunków i ich przygotowanie:

- ładunki wzorcowego MW – jako wzorcowy MW stosowano krystaliczny heksogen przechodzący w 100% przez sito o boku oczka kwadratowego 1 mm. Ładunki wzorcowe wykonano analogicznie jak ładunki badanego MW. Wielkość ładunku ($10 \pm 0,1$) g. Gęstość zaprasowania $1,0 \text{ g/cm}^3$,
- ładunki badanego MW – jako podstawowy stosowano ładunek 10-gramowy.

Ładunek badanego i wzorcowego MW wprowadzono do komory moździerza, przeciągając zwarte przewody zapalnika przez kanalik zapalnikowy. Przewody naprężano tak, aby korek zapalnika zasłonił kanalik zapalnikowy, a oś ładunku MW znalazła się w osi komory wybuchowej. Następnie do komory pociskowej wsunięto oczyszczony i osuszony pocisk



Rys. 4. Wahadło balistyczne

- 1 – stalowy moździerz, 2 – ramię wahadła, 3 – stalowa konstrukcja samonośna, 4 – przeciwiężar,
 5 – stalowa rurka z podziałką kątową, 6 – suwakowy wskaźnik wychylenia ramienia wahadła (2),
 7 – wspornik rurki (5), 8 – żelbetowy fundament, 9 – łożyska ramienia 2,
 10 – urządzenie do zatrzymywania ramienia wahadła (2) po odstrzale, 11 – zadaszenie

Fig. 4. Ballistic pendulum

- 1 – steel mortar, 2 – pendulum arm, 3 – steel self-supporting structure, 4 – counterweight,
 5 – steel tube with an angle scale, 6 – slider indicator of pendulum arm (2) deflection,
 7 – tube (5) support, 8 – reinforced concrete foundation, 9 – pendulum arm (2) bearing,
 10 – device for stopping pendulum arm (2) after firing, 11 – roof

zaokrągloną krawędzią na zewnątrz moździerza, aż do oparcia go o czołową ściankę wymiennej wkładki komory wybuchowej.

Po odblokowaniu urządzenia do zatrzymywania ramienia wahadła i ustawieniu wskaźnika suwakowego w położeniu zerowym inicjowano ładunek badanego i wzorcowego MW (każdorazowo zapalnikiem elektrycznym natychmiastowym). Cofające się na skutek detonacji ramię wahadła zabierało ze sobą wskaźnik suwakowy, który zatrzymywał się w miejscu odpowiadającym maksymalnemu kątowi wychylenia wahadła. Odczytywano wartość kąta z dokładnością do 5 minut kątowych.

Podczas każdej serii detonowano na zmianę MW wzorcowy i badany MW. Oznaczanie rozpoczynało się od detonacji ładunku wzorcowego MW. Po każdej detonacji komorę moździerza oczyszczano szczotką z włosia i szmatą.

Odczytane w minutach kątowych wartości kątów wychylenia wahadła przeliczono na wartości $(1 - \cos \alpha)$ (W). Średnie arytmetyczne wartości $(1 - \cos \alpha)$ dla badanego MW (m) lub wzorcowego MW (m_W) obliczono według wzoru (4):

$$m; m_W = \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_n}{n} \quad (4)$$

gdzie:

- $W_1 \dots W_n$ – pojedyncze wartości $(1 - \cos \alpha)$ badanego lub wzorcowego MW,
- n – ilość prób,
- m, m_W – średnie arytmetyczne wartości $(1 - \cos \alpha)$ odpowiednio dla badanego MW lub wzorcowego MW.

Względną zdolność do wykonania pracy badanego MW (X) obliczono w procentach w odniesieniu do MW wzorcowego według wzoru (5):

$$X = \frac{m}{m_W} \cdot 100 [\%] \quad (5)$$

gdzie:

- m – średnia arytmetyczna wartości $(1 - \cos \alpha)$ dla ładunków badanego MW,
- m_W – średnia arytmetyczna wartości $(1 - \cos \alpha)$ dla ładunków wzorcowego MW,
- X – względną zdolność do wykonania pracy badanego MW [%].

3. Część analityczna

Do badań wytypowano dwa materiały wybuchowe (saletrol i dynamit) dostępne na polskim rynku. Ze względu na brak zgody producentów na publikację nazw tych materiałów, poniżej przedstawiono ich charakterystyczne właściwości:

- saletrol: gęstość MW około $0,82 \text{ g/cm}^3$, wytworzony w 95% z saletry porowatej i w 5% z oleju napędowego,
- dynamit: gęstość MW około $1,4 \text{ g/cm}^3$, skład: m.in. saletra amonowa (<60%), mieszanka nitrogliceryny/nitroglikolu (>30%).

3.1. Porównanie badań na wahadle balistycznym z metodą bloku ołowianego

W tabelach 1 i 2 przedstawiono wyniki oznaczania zdolności MW do wykonania pracy przy użyciu bloków ołowianych oraz wahadła balistycznego odpowiednio dla materiałów wybuchowych typu dynamit i saletrol.

Kolumny (2) zawierają wartości wyjęcia bloku ołowianego uzyskane podczas prowadzonych badań, natomiast w kolumnie (3) podano wyniki uzyskane przy użyciu wahadła balistycznego.

TABELA 1. Wyniki oznaczania zdolności do wykonania pracy przez MW typu saletrol

TABLE 1. Results of the determination of the ANFO's capability to perform work

Próba	Blok (uzyskane)	Wahadło (uzyskane)	Blok (uzyskane)/ /wahadło (uzyskane)	Blok (obliczone)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	209	50,0	4,18	207
2	214	50,7	4,22	210
3	212	50,9	4,17	211
4	211	50,4	4,19	209
5	210	51,8	4,05	215
6	209	51,4	4,07	213
7	213	50,8	4,19	211
8	212	51,8	4,09	215
9	210	52,0	4,04	216
10	214	53,4	4,01	221
11	215	51,6	4,17	214
12	214	50,8	4,21	211
13	209	50,4	4,15	209
14	212	50,8	4,17	211
15	212	51,8	4,09	215
16	214	51,0	4,20	211
17	210	49,4	4,25	205
18	212	50,4	4,21	209
19	215	51,0	4,22	211
20	212	49,4	4,29	205
21	215	50,4	4,27	209
22	210	51,7	4,06	214
23	209	52,9	3,95	219
24	211	51,4	4,11	213
Średnio	211,83	51,09		
Średnie odchylenie	1,69	0,74		
Odchylenie standardowe	2,06	0,96		
Współczynnik α -Pb	4,15			

TABELA 2. Wyniki oznaczania zdolności do wykonania pracy przez MW typu dynamit

TABLE 2. Results of the determination of the dynamite's capability to perform work

Próba	Blok (uzyskane)	Wahadło (uzyskane)	Blok (uzyskane)/ /wahadło (uzyskane)	Blok (obliczone)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	347	86,7	4,00	375
2	349	81,9	4,26	354
3	366	80,7	4,54	349
4	379	85,8	4,42	371
5	373	80	4,66	346
6	360	82,3	4,37	356
7	372	87,3	4,26	377
8	360	88,9	4,05	384
9	362	84,9	4,26	367
10	367	84,8	4,33	366
11	353	89,7	3,94	388
12	400	77,8	5,14	336
13	360	84,9	4,24	367
14	353	82,7	4,27	357
15	349	82,7	4,22	357
16	384	84,5	4,54	365
17	356	82,6	4,31	357
18	362	81,1	4,46	350
19	358	81,9	4,37	354
20	364	84,5	4,31	365
21	315	76,8	4,10	332
22	369	90,7	4,07	392
23	365	82,9	4,40	358
24	363	84	4,32	363
Średnio	361,92	83,75		
Średnie odchylenie	10,09	2,64		
Odchylenie standardowe	15,52	3,41		
Współczynnik α -Pb	4,32			

Współczynnik α -Pb określa zależność średniej wartości z uzyskanych wyników wydęcia w blokach ołowianych (kolumny 2) do średniej wartości z wyników uzyskanych na wahadle balistycznym (kolumny 3) i dany jest wzorem (6):

$$\alpha\text{-Pb} = \frac{\overline{B_U}}{\overline{W_U}} [\text{cm}^3/\%] \quad (6)$$

gdzie:

- $\overline{B_U}$ – średnia wartość wyników wydęcia w blokach ołowianych [cm^3],
- $\overline{W_U}$ – średnia wartość z wyników uzyskanych na wahadle balistycznym [%],
- α -Pb – współczynnik przeliczeniowy [$\text{cm}^3/\%$].

Blok (obliczone) to w kolumnach (5) wartości wynikające z przeprowadzonych obliczeń matematycznych według wzoru (7):

$$B_o = W_U \cdot \alpha\text{-Pb} [\text{cm}^3] \quad (7)$$

gdzie:

- B_o – blok (obliczone),
- W_U – względna zdolność do wykonania pracy określona przy użyciu wahała balistycznego [%],
- α -Pb – współczynnik przeliczeniowy [$\text{cm}^3/\%$].

Z obliczonych wartości wydęcia bloku ołowianego B_o (kolumny 5) obliczono średnią wartość. Uzyskana w ten sposób teoretyczna średnia wartość wydęcia w bloku ołowianym jest zbliżona do wartości uzyskanych podczas prób. Stąd wniosek o słuszności obranej drogi obliczeniowej.

Zależność (6) z wyznaczonym współczynnikiem α -Pb dla danej grupy MW umożliwi przeliczenie wyników z metody wahała balistycznego na wydęcie w bloku ołowianym według wzoru (7) w [cm^3].

3.2. Oszacowanie niepewności pomiarów

Do oszacowania błędu wykorzystanych metod przeprowadzono walidację, polegającą na matematycznym oszacowaniu błędu wyniku badania poszczególnych metod. Jako reprezentatywne wyniki do obliczenia błędu metod badania wykorzystano wielkości:

- dla metody bloków ołowianych – wielkości wydęcia spowodowanego detonacją wzorcowego MW (kwas pikrynowy),
- dla metody wahała balistycznego – wielkości wychylenia ramienia wahała balistycznego spowodowanego detonacją MW wzorcowego (heksogen).

3.2.1. Oszacowanie błędu wyniku badania zdolności do wykonania pracy w bloku łożnianym

Błąd wyniku badania zdolności do wykonania pracy w bloku łożnianym oszacowano wykorzystując rozkład t -Studenta.

Liczba pomiarów: $n = 9$, $(1 - \alpha) = 0,95$ – współczynnik ufności (95 % – poziom ufności), gdzie: α – poziom istotności.

Średnie wydęcie bloku łożnianego przez kwas pikrynowy:

$$x_s = 313,33$$

Odchylenie standardowe obliczono ze wzoru (8):

$$S^2 = 1/n \sum (x_i - x_s) \quad (8)$$

gdzie:

S – odchylenie standardowe,

x_s – średnie wydęcie bloku łożnianego,

x_j – poszczególne wartości wydęcia bloku łożnianego.

Wartość odchylenia standardowego wynosi: $S = 6,98$.

Z tablicy rozkładu Studenta odczytano wartość t_α dla $\alpha = 0,05$ i $n = 9$ jako:

$$t_\alpha = 2,2622$$

gdzie:

t_α – kwantyl rozkładu Studenta dla poziomu istotności α .

Przedział ufności dla średniej (m) wyznaczono z zależności (9):

$$m \in \left(x_s - t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n-1}}; x_s + t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n-1}} \right) \quad (9)$$

$$t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n-1}} = 5,58$$

Uzyskano następujący przedział ufności dla średniej:

$$m \in (307,75; 318,92)$$

Błąd metody X metody bloku łożnianego wyznaczono z zależności (10) jako:

$$\frac{313,333 - 100\%}{5,58 - X\%} = 1,78\% \quad (10)$$

Na podstawie przeprowadzonych wyliczeń stwierdzono, że maksymalny szacowany błąd wyniku badania metodą bloku ołowianego wynosi 1,78%.

3.2.2. Oszacowanie błędu wyniku badania względnej zdolności do wykonania pracy za pomocą wahadła balistycznego

Błąd wyniku badania zdolności do wykonania pracy w bloku ołowianym oszacowano wykorzystując rozkład *t*-Studenta.

Liczba pomiarów: $n = 9$, $(1 - \alpha) = 0,95$ – współczynnik ufności (95 % – poziom ufności) gdzie: α – poziom istotności.

Średnie wychylenie ramienia wahadła balistycznego przez heksogen:

$$x_s = 0,212$$

Odchylenie standardowe wychylenia ramienia wahadła balistycznego obliczono ze wzoru (11):

$$S^2 = 1/n \sum (x_i - x_s) \quad (11)$$

gdzie:

- S – odchylenie standardowe,
- x_s – średnie wartości wychylenia wahadła,
- x_j – poszczególne wartości wychylenia wahadła.

Wartość odchylenia standardowego wynosi: $S = 0,004$.

Z tablicy rozkładu Studenta odczytano wartość t_α dla: $\alpha = 0,05$ i $n = 9$ jako:

$$t_\alpha = 2,2622$$

gdzie:

- t_α – kwantyl rozkładu Studenta dla poziomu istotności α .

Przedział ufności dla średniej obliczono ze wzoru (12) – oznaczenia jak we wzorze (9):

$$m \in \left(x_s - t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n-1}}; x_s + t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n-1}} \right) \quad (12)$$

$$t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n-1}} = 0,003199$$

Uzyskano następujący przedział ufności dla średniej:

$$m \in (0,2088 ; 0,2152)$$

Błąd metody Y wahadła balistycznego wyznaczono z zależności (13) jako:

$$\begin{array}{r} 0,212 \quad - \quad 100\% \\ 0,003199 \quad - \quad Y\% \\ \hline Y = 1,51\% \end{array} \quad (13)$$

Na podstawie przeprowadzonych wyliczeń stwierdzono, że maksymalny szacowany błąd wyniku badania metodą wahadła balistycznego wynosi 1,51%.

W obydwu przypadkach błąd metody badania jest niewielki. Stąd wniosek, że nie będzie on miał istotnego wpływu na wynik końcowy przeprowadzonej analizy i wyznaczonego współczynnika α -Pb.

3.3. Oszacowanie błędu wyznaczonego współczynnika α -Pb

Szacując błąd wyznaczonego współczynnika α -Pb, uwzględniono niepewność oszacowania błędów zastosowanych metod badawczych (rozdz. 3.2). Wyliczone błędy metod są standardowymi niepewnościami składowymi, użytymi do wyliczenia standardowej niepewności złożonej, a tym samym do oszacowania błędu współczynnika α -Pb.

Standardowe niepewności składowe:

- błąd metody oznaczenia zdolności do wykonania pracy przez MW w blokach ołowianych: $X = 1,78\%$,
- błąd metody oznaczenia zdolności do wykonania pracy przez MW na wahadle balistycznym: $Y = 1,51\%$.

Standardową niepewność złożoną U_c wyznaczono z zależności (14) jako:

$$U_c = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (14)$$

Podstawiając wartości do wzoru (14) $U_c = \sqrt{1,78^2 + 1,51^2}$ otrzymujemy $U_c = 2,33\%$

Stąd wyliczony błąd współczynnika α -Pb wynosi: 2,33%.

Dla poszczególnych materiałów wybuchowych wartości liczbowe błędu współczynnika α -Pb wynoszą odpowiednio:

- saletrole: $\pm 0,09 \text{ cm}^3/\%$;
- dynamity: $\pm 0,10 \text{ cm}^3/\%$;

Podsumowanie i wnioski

Celem badań było stwierdzenie istnienia zależności między wartościami zdolności do wykonania pracy przez MW oznaczonymi przy użyciu wahała balistycznego oraz bloku ołowianego. W rezultacie przeprowadzonych badań oraz analizy wyników wyznaczono współczynnik α -Pb, który służy do przeliczania wartości zdolności do wykonania pracy przez MW oznaczonej na wahałce balistycznym na odpowiadające jej wartości wydęcia bloku ołowianego.

Główny Instytut Górnictwa – Kopalnia Doświadczalna Barbara jest jedyną jednostką notyfikowaną Unii Europejskiej w zakresie Dyrektywy 2014/28/UE, która posiada stanowisko do wytapiania bloków ołowianych oraz aparaturę i środki do oznaczania zdolności do wykonania pracy przez MW w blokach ołowianych – metoda ta została bowiem zaniechana w innych jednostkach badawczych na rzecz badania z użyciem wahała balistycznego i/lub testu podwodnego.

Stosowanie jednej, a nie dwóch metod badawczych przyczynić się może do skrócenia i obniżenia kosztu badań MW dla potencjalnych klientów przy takich samych wymaganych parametrach. Jest to również istotne ze względu na chęć poprawy warunków pracy personelu badawczego, poprzez wyeliminowanie negatywnego wpływu na organizm szkodliwych oparów ołowiu, które pojawiają się podczas wytopu bloków ołowianych.

Współczynnik α -Pb dla zbadanych materiałów wybuchowych wynosi:

→ saletrol (ANFO): α -Pb = **4,15** ± 0,09 cm³/%;

→ dynamity: α -Pb = **4,32** ± 0,10 cm³/%;

Wobec istnienia opisanej zależności i w celu potwierdzenia uniwersalności współczynnika α -Pb, konieczne jest kontynuowanie przedmiotowej tematyki badawczej i przeprowadzenie oznaczeń zdolności do wykonania pracy dla innych reprezentantów w ramach podgrup MW (amonowo-saletrzone, nitroestrowe, emulsyjne).

Literatura

Cybulski, W. 1971. *Górnictwo i środki strzelnicze*. Katowice: Wyd. „Śląsk”.

Melvin A. Cook, 1974. *The Science of Industrial Explosives*. Graphic Service & Supply, Inc. USA.

PN-C-86037:2000 Materiały wybuchowe – Oznaczanie zdolności do wykonania pracy w bloku ołowianym.

PN-C-86035:1999 Materiały wybuchowe – Oznaczanie względnej zdolności do wykonania pracy za pomocą wahała balistycznego.

PN-EN 13631-1 „Materiały wybuchowe do użytku cywilnego – Materiały wybuchowe kruszące – Część 1: Wymagania”.

Włodarczyk, E. 1994. *Wstęp do mechaniki wybuchu*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.

