

POMIAR CZASU - NIEPEWNOŚĆ METODY BADAWCZEJ

Streszczenie: W artykule podano niepewność metody badawczej pomiaru czasu przy użyciu stopera, czyli przyrządu typu sekundomierz, stosowaną podczas określania czasu, np. palenia się samolikwidatorów, opóźniaczy pirotechnicznych, czy smugaczy (stosowanych w amunicji artyleryjskiej lub czołgowej), samolikwidacji pocisków raketowych, czy granatników, dwoma niezależnymi sposobami. Pierwszy sposób – poprzez tzw. budżet niepewności (metoda typu B wg przewodnika ISO) i drugi sposób tzw. metoda typu A (metoda analizy statystycznej). Wykazano, że oszacowanie niepewności metody badawczej polegającej na pomiarze czasu metodą typu A minimalizuje błąd (niepewność) metody pomiarowej, w stosunku do oszacowania niepewności badawczej metodą typu B. Przy określaniu błędu (niepewności) pomiaru czasu metodą typu A uwzględniono wszystkie czynniki mające wpływ na wynik pomiaru i wykazano, że czas palenia masy pirotechnicznej, chociaż zależy od temperatury, to ma znikomą wpływ na błąd metody określenia czasu palenia się masy pirotechnicznej.

1. Wstęp – niepewność (błąd) metody

Doskonale zdajemy sobie sprawę co to jest błąd pomiaru: <<różnica między pomiarem, a wartością prawdziwą wielkości mierzonej>> [1]. Jednak za powyższym określeniem, już w ww. [1] podawane jest uzupełnienie do powyższej definicji:

<<1. Ponieważ wartość prawdziwa nie może być określona, stosujemy w praktyce wartość umownie prawdziwą.

2. Jeżeli trzeba rozróżniać między „błędem” i „błędem względnym”, to pierwszy bywa nazywany „błędem bezwzględnym pomiaru”.>>

Jednak w praktyce nie znamy prawie nigdy wartości rzeczywistej pomiaru, a tym samym nie jesteśmy w stanie określić błędów prawdziwych. Za [2] <<w wielu zastosowaniach praktycznych wygodnie jest korzystać z błędów umownie prawdziwych.>>

Idąc dalej w rozważaniach <<w praktyce stosowanie dwóch przymiotników określających rodzaj błędu, np. błąd prawdziwy względny lub błąd graniczny bezwzględny, jest zbyt uciążliwe i dlatego też wszędzie tam, gdzie rodzaj błędu wynika z kontekstu, przestaje się na samej nazwie błąd. **Błąd graniczny bezwzględny** $\Delta_{\max}x$ (a także graniczny względny $\delta_{\max}x$) bywa nazywany **niepewnością**, a nawet niedokładnością.>> [2]

Niepewność całkowita (dokładność) – *overall uncertainty* jest to [3] <<różnica pomiędzy średnią wyników badania (pomiaru, oznaczenia, analizy, obserwacji itp.), a wartością rzeczywistą lub (gdy brak jest wzorca) przyjętą wartością odniesienia. Parametr u_C związany jest z wynikiem badania \bar{x}_{sr} przeprowadzonego w określonych warunkach badania przy uwzględnieniu wszystkich czynników mogących wpłynąć na wynik końcowy \bar{x}_{sr}

$\bar{x}_{sr} + u_C = \text{średnia wyników} \pm (\text{odchylenie przypadkowe} \pm \text{odchylenie systematyczne}).>>$

Wielkość (parametr), który charakteryzuje niepewność jest odchylenie standardowe „ σ ” (lub jego wielokrotność), dla konkretnie przyjętego poziomu istotności (podanego prawdopodobieństwa, że wartość wyniku pomiaru x_i znajdzie się w podanym przedziale ufności).

Z reguły przyjmuje się (wystarczająco dokładne przybliżenie) prawdopodobieństwo 95% {dla dwukrotnego odchylenia standardowego – współczynnik rozszerzenia (pokrycia) $k = 2$ }.

Wszystkie rozważania dotyczące niepewności pomiaru mogą być przeniesione, w celu np. wyrażenia niepewności metody badawczej. Jednak należy pamiętać, że <<realne niepewności wyników z badań są znacznie większe jak by się chciało i większe jak mniemają postronni laicy po fachu>> [3].

Na zakończenie należy podkreślić, że <<pojęcie niepewności jako pewnej liczbowo wyrażanej cechy jest stosunkowo nowe w historii pomiarów, choć błąd i analiza błędów od dawna są częścią wiedzy o pomiarach, czyli metrologii>>[2].

2. Niepewność procedury badawczej – czas działania lub samolikwidacji

Zgodnie z wytycznymi [4] oraz [5] można w bardzo prosty sposób określić niepewność (błąd, dokładność) ww. procedury, metody badawczej polegającej na pomiarze czasu przez dwóch niezależnych obserwatorów przy pomocy stoperów, a pozwalającej określić czas działania, samolikwidacji.

Wydawałoby się, że ze względu na rodzaj badanej cechy - „czas”, to niepewność (błąd) metody (procedury) badawczej jest równa zero lub bliska tej wartości. Przecież badany smugacz w pocisku, czy samolikwidator zapalnika, które są wystrzeliwane z określonego działa, posiadają dokładnie określoną temperaturę, a badanie prowadzimy w określonych (prawie niezmiennych w czasie) warunkach atmosferycznych. Strzelamy konkretnym pociskiem, który ma np. określony czas samolikwidacji, a sam pomiar zależy tylko od użytego przyrządu i osoby dokonującej pomiaru czasu.

Można więc pominąć pozostałe czynniki, gdyż jak wiadomo mierzony parametr, czy wskazanie przyrządu można przyjąć, że nie zależą od temperatury, wilgotności, ciśnienia. Celowym wydaje się zastosowanie przyrządu o jak największej dokładności, ale jak dalej wykazano nie jest to czasami zasadne, szczególnie gdy mamy do określenia czas samolikwidacji, działania smugacza w pocisku o wielkości kilku sekund. Wydawałoby się, że największy błąd jaki jest wnoszony powodowany jest i związany z mierzącym (jego czas reakcji).

Niepewność procedury należy określić <<jako wypadkową z budżetu niepewności powodowanych przez różne czynniki w każdym z modułów metody badawczej.>> [3]

Zawsze określa się i podaje niepewność rozszerzoną.

2.1 Niepewność procedury poprzez budżet niepewności (metoda typu B)

Stworzenie budżetu niepewności wiąże się z odpowiedzią na pytanie: należy znaleźć wszystkie możliwe czynniki mające wpływ na ostateczny wynik badania. W ww. procedurze przyjęty budżet niepewności przedstawia się następująco:

1. badany smugacz w pocisku (temperatura i wilgotność podczas zaprasowywania ładunku prochowego w smugaczu, dokładność zaprasowania wysokości masy pirotechnicznej, a w związku z tym powtarzalność gęstości zaprasowania) – u_S ,
2. warunki meteorologiczne badania (temperatura, wilgotność, ciśnienie) – u_M ,
3. dział, armata (np. czas opóźnienia inicjacji zapalenia smugacza w stosunku do wystrzału) – u_D ,
4. użyty przyrząd pomiarowy (dokładność, wiarygodność wskazań) - u_P ,
5. badający (doświadczenie, „obstrzelanie” podczas badań poligonowych, brak wrażliwości na wystrzał) - u_B .

Niepewność procedury określimy jako sumę z maksymalnych niepewności (błędów) ze wszystkich czynników mających wpływ na wynik końcowy badania:

$$u_C = \pm \sqrt{u_S^2 + u_M^2 + u_D^2 + u_P^2 + u_B^2} \quad (1)$$

Smugacze i opóźniacze wykonywane są z pewną dokładnością. Na wielkość czasu palenia się masy pirotechnicznej mają wpływ:

- warunki atmosferyczne panujące w pomieszczeniu, w czasie zaprasowania masy pirotechnicznej. Można przyjąć, że ze względu na reżim technologiczny [6, 7] – temperatura w pomieszczeniu ponad 16°C i wilgotność nie większa niż 65%, błędy są bliskie zera, $u_{pom} = 0\%$;
- nierównomierność (powtarzalność nacisku prasy) podczas każdego zaprasowania pojedynczego smugacza, czy opóźniacza. Można z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że powtarzalność nacisku prasy, zaprasowania jest rzędu $u_{pr} = 10\%$ (np. dokładność odczytu wskazania na przyrządzie manometrycznym prasy o nacisku rzędu 10^6 N, gdy chcemy zaprasować masę z naciskiem ok. 10^5 N), co potwierdza przykład 1;
- gęstość zaprasowania. Wnosi ona największą zmianę na czas palenia się smugacza (wielkość jest pośrednio związana także z naciskiem prasy). Dokumentacja konstrukcyjna dopuszcza odchyłki wykonania korpusu, obudowy smugacza lub opóźniacza, w którą wsypywana jest i zaprasowywana masa pirotechniczna. Dokładność każdej z zasypywanych naważek decyduje o gęstości zaprasowania. Można z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że błąd gęstości zaprasowania może być rzędu $u_{gest} = 10\%$, co potwierdza przykład 2.

PRZYKŁAD 1

Dla smugacza artyleryjskiego Nr 9 w dokumentacji konstrukcyjnej [8] podano zakres nacisku prasowania (883 ± 98) MPa – $(8\ 000 \text{ kG/cm}^2 - 10\ 000 \text{ kG/cm}^2)$.

$$u_{pr9} = \pm \frac{98}{883} = \pm 11\%$$

PRZYKŁAD 2

Dla smugacza Nr 2 w dokumentacji konstrukcyjnej [9] podano parametry obudowy:

- średnica wewnętrzna korpusu – $D = (17,8 \pm 0,12) \cdot 10^{-3}$ m;
- przestrzeń do zaprasowania o wysokości $h = (21_{-0,5} - 2_{-0,1}) \cdot 10^{-3}$ m;
- naważki mas $(6,85-8,3) \cdot 10^{-3}$ kg oraz $(1,7-2) \cdot 10^{-3}$ kg.

Dla powyższych danych określono przy pomocy programu AUTOCAD 2008 objętość jaką zajmie masa pirotechniczna – $V_{min} = 4,090 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$ i $V_{max} = 4,239 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$ oraz $V_{sr} = (4,165 \pm 35) \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$. Średnia masa naważki $m_{sr} = (9,425 \pm 0,875) \cdot 10^{-3}$ kg. Gęstość zaprasowanej masy można określić z następującej zależności:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Po podstawieniu wielkości otrzymamy:

$$\rho_{sr} = \frac{m_{sr}}{V_{sr}} = \frac{9,425 \cdot 10^{-3}}{4,165 \cdot 10^{-12}} = 2\ 263 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \rho_{min} = 2\ 017 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \rho_{max} = 2\ 518 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \rho = (2\ 268 \pm 250)$$

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$u_{gst} = \pm 11\%$$

Smugacze wykonywane są z pewną dokładnością i analogicznie jak dla każdej amunicji, można przyjąć, że błąd względny wykonania smugacza jest wielkości wszystkich znaków masowych ($\pm 3\%$) i wtedy – $u_{wyk} = \pm 3\%$.

Ostatecznie całkowity błąd zaprasowania i wykonania smugacza:

$$u_S = \pm \sqrt{(u_{pom})^2 + (u_{pr})^2 + (u_{gst})^2 + (u_{wyk})^2} = \pm \sqrt{0^2 + 10^2 + 10^2 + 3^2} = \pm 14,5\%$$

W czasie próby nie mamy wpływu na wybór dostarczonej do badań amunicji, której integralną częścią jest badany smugacz, czy opóźniacz. Jednak przed samym strzelaniem amunicja z reguły jest termostatowana. Niepewność związana z ww. czynnością zależy od maksymalnego błędu jaki jest możliwy do popełnienia podczas przetrzymywania amunicji w termostacie – $\pm 2K$.

Maksymalny błąd względny, przy przyjęciu temperatury badania (np. badania strzelaniem prowadzi się w temperaturze otoczenia $283^\circ K - 10^\circ C$) – $u_{ter} = \pm 0,71\%$.

Jak już wcześniej wspomniano niepewność związaną z warunkami atmosferycznymi można przyjąć równą zero. Podczas strzelania i w czasie trwania próby (zwykle mniej niż pół godziny dla jednej badanej partii), wpływ warunków meteorologicznych na czas samolikwidacji pocisku jest do pominięcia – $u_m = 0\%$.

$$u_M = \pm \sqrt{(u_{ter})^2 + (u_m)^2} = \sqrt{0,71^2 + 0^2} = \pm 0,71\%$$

Ponieważ dopuszcza się prowadzić strzelania z luf o spadku prędkości początkowej do 3%, to można przyjąć, że mamy określoną maksymalną niepewność związaną z użytym działem jako połowa tej wartości:

$$u_{d\%} = \pm 1,5\%$$

W praktyce wpływ działa na czas zapalenia (zadziałania) smugacza (jego inicjację) jest do pominięcia, chociaż dla badań smugaczy arkusze badań poligonowych dopuszczają widoczność smugi (palącego się smugacza) dopiero po pewnym czasie (przykład 3). Przyjęto, że błąd ten wynosi:

$$u_{zap} = \pm 1\%$$

PRZYKŁAD 3

Dla smugacza Nr 2, którego minimalny czas palenia $t_{sm2} = 2$ s (dopuszcza się nawet w 15% badanych smugaczy czas krótszy), w dokumentacji konstrukcyjnej [9] podano, że prędkość początkowa (wylotowa) badanego pocisku $v_o = 990$ m/s oraz dopuszcza się zapalenie smugacza do 150 m od działa. Po obliczeniu z wzoru:

$$t = \frac{s}{v} \tag{3}$$

otrzymano: $t_{zap} = 0,15$ s. Błąd opóźnienia zapalenia smugacza Nr 2:

$$u_{zap2} = \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{t_{zap}}{t_{sm2}} = \pm \frac{0,15}{2 \cdot 2} = \pm 3,75\%$$

Ostatecznie otrzymano niepewność związaną z użytym sprzętem (działem):

$$u_D = \pm \sqrt{(u_{d\%})^2 + (u_{zap})^2} = \pm \sqrt{1,5^2 + 1^2} = \pm 1,8\%$$

Niepewność związana z zastosowanym przyrządem pomiarowym. Możemy zastosować aparaturę o dużej dokładności. Jednak nie ma sensu zbyt duża dokładność, gdyż błąd (niepewność) z tym związana nie wyeliminuje błędów jaki wnosi sam obiekt badany. Dlatego można przyjąć, że nawet bardzo niedokładny przyrząd jakim jest sekundomierz (maksymalny

błąd dopuszczalny dla tego typu produkowanych urządzeń może wynosić maksymalnie do 12 s na dobę), nie ma znaczenia przy pomiarach czasu rzędu kilku, czy kilkunastu sekund:

$$u_{P_{\max-24h}} = \pm 0,0139\%$$

PRZYKŁAD 4

Dla posiadanych w laboratorium LBAR WITU stoperów:

- typu H20, błąd taktowania zegara kwarcu wynosi $+8,34 \cdot 10^{-6}$ na 1s ($+8,34 \cdot 10^{-6}$ Hz), co odpowiada błędowi $u_{PH20-24h} = +0,0008\%$ lub dla warunków z przykładu 3: $u_{PH20-2s} = +0,0017\%$)
- „Cronos” błąd taktowania zegara kwarcu wynosi $+1,34 \cdot 10^{-4}$ na 1s ($+1,34 \cdot 10^{-4}$ Hz), co odpowiada błędowi $u_{PCr-24h} = +0,013\%$ lub dla warunków z przykładu 3: $u_{PCr-2s} = +0,027\%$)

Przyjęto, że $u_P = \pm 0,01\%$

Przyjmuje się, że czas reakcji człowieka wynosi 0,2 s, czyli $u_B = \pm 0,2$ s
Należy wielkość tą wyrazić jako błąd względny. Dla przykładu 3 (podanego powyżej) i przykładu 5 (podanego poniżej) otrzymamy:

$$u_{B2s} = \pm 10\% \qquad u_{B4,9s} = \pm 4,1\%$$

Przyjęto, że $u_B = \pm 10\%$,

choć jak podano w przykładzie 5, błąd ten może być większy i wynosić (podczas badania wyrobu WP7M dla wartości podanych w przykładzie 5):

$$u_{B \text{ LBAR}\%} = \{9,4\% ; 16,5\% \}$$

PRZYKŁAD 5

W LBAR WITU prowadzono w roku 1998 badania strzelaniem wyrobów WP-7M. Wyniki pomiaru czasu samolikwidacji zapalnika $t_{WP-7M} = (4,9 \pm 1,1)$ s [10], pochodzą z tego badania, a wykonane zostały przez trzech niezależnych obserwatorów, dla dwóch wybranych z spośród 15 strzałów (z jednej i tej samej próbki pomiarowej), w którym mierzący najbardziej i najmniej różnili się między obserwacją tego samego zjawiska:

$$t_{1\max} = 4,91 \text{ s}, t_{2\max} = 4,59 \text{ s}, t_{3\max} = 4,62 \text{ s} \quad (t_{s\max} = 4,71 \text{ s}, \sigma_{\max} = 0,1768).$$

$$t_{1\min} = 4,65 \text{ s}, t_{2\min} = 4,65 \text{ s}, t_{3\min} = 4,64 \text{ s} \quad (t_{s\min} = 4,65 \text{ s}, \sigma_{\min} = 0,01).$$

Po przyjęciu współczynnika korekcji $K = 2,3$ [4], współczynnika rozszerzenia $k = 2$ i obliczeniu błędu badających otrzymamy:

$$u_{B \text{ LBAR}\max} = \pm k K \cdot \sigma_{\max} = 2 \cdot 2,3 \cdot 0,1768 \text{ s} = 0,81 \text{ s}$$

$$u_{B \text{ LBAR}\min} = \pm k K \cdot \sigma_{\min} = 2 \cdot 2,3 \cdot 0,01 \text{ s} = 0,046 \text{ s}$$

Niepewność procedury pomiaru czasu stoperem określono z wzoru (1):

$$u_C = \pm \sqrt{14,5^2 + 0,71^2 + 1,8^2 + 0,01^2 + 10^2} = \pm 17,7\%$$

Ostatecznie niepewność rozszerzoną określamy dla metody badawczej, przy 95% ufności [5]. Wynosi ona:

$$u = \pm k \cdot u_c \qquad (4)$$

$$u = \pm 2 \cdot 17,7 = \pm 35,4\%$$

Oszacowano więc niepewność rozszerzoną (maksymalny błąd) metody badawczej przyjmując tzw. metodę typu B [4, 5], z oszacowaniem błędów jaki wnoszą: przyrząd pomiarowy, którym jest stoper elektroniczny i człowiek oraz sam obiekt badany, którego czas palenia jest określany. Przy określeniu niepewności nie analizowano serii obserwacji, a tylko przedstawiono wyniki pomiarów z prób strzelaniem w celu potwierdzenia przyjmowanych i zakładanych maksymalnych wartości błędów (niepewności).

2.2 Niepewność procedury – konkretne przypadki (metoda typu A i B)

2.2.1 Metoda typu B

Dla wyrobu WP-7M w [10] podaje się przepisy badań odbiorczych (warunki przeprowadzenia badania) – sprawdzenie czasu samolikwidatora. W dokumentacji podano czas:

$$t_{WP-7M} = (3,8-6) \text{ s, czyli } t_{WP-7M} = (4,9 \pm 1,1) \text{ s.}$$

Niepewność rozszerzoną określono z (4), przy przyjęciu:

$$u_C = \pm \sqrt{u_{WP-7M}^2 + u_B^2 + u_P^2 + u_M^2}$$

$$\text{gdzie } u_{WP-7M} = \frac{1,1}{4,9} = 22,4\% ; u_{B4,9s} = \frac{0,2}{4,9} = \pm 4,1\% ; u_P = + 0,01\% ; u_M = \pm 0,71\%$$

Otrzymamy:

$$u_C = \pm \sqrt{22,4^2 + 4,1^2 + 0,01^2 + 0,71^2} = 22,8\%$$

Ostatecznie niepewność rozszerzoną określimy z (4) i dla metody badawczej przy 95% ufności wynosi ona:

$$u = 2 \cdot 22,8 = 45,6\%$$

2.2.2 Metoda typu A

Określenie maksymalnej niepewności metody pomiaru czasu (błąd metody) dla samolikwidatora zapalnika ZUG stosowanego do uzbrojenia granatu kumulacyjno-odłamkowego, dla rzeczywistych badań przeprowadzonych w 2006 roku w Zakładach Metalowych „DEZAMET” S.A [11]. W czasie badań określano czas palenia się ścieżki prochowej samolikwidatora (masa SC-1-P z partii 1/2000 i SC-1-R p.1/99). Wyniki badań, które prowadzono w trzech różnych temperaturach, zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Lp.	Masa SC-1-P			MASA SC-1-R		
	t_{otocz}	t_{+50}	t_{-40}	t_{otocz}	t_{+50}	t_{-40}
1	26,60	24,15	26,39	25,55	24,81	25,65
2	26,00	24,99	25,66	25,12	24,48	26,32
3	25,40	24,58	24,73	26,09	24,79	25,32
4	26,31	24,91	25,31	24,80	24,43	26,43
5	25,90	25,18	26,52	24,79	23,78	25,17
$t_{\bar{s}}$	26,04	24,76	25,72	25,27	24,46	25,78
σ	0,45	0,41	0,75	0,55	0,42	0,57

Błąd oszacowano metodą typu A – dla serii wyników pomiarów przy pomocy analizy statystycznej serii obserwacji (pomiarów), tylko dla jednej temperatury.

Przyjęto współczynnik korekcji $K = 1,4$ (dla $n = 5$) [4], obliczono odchylenie standardowe i oszacowano błąd (niepewność metody pomiarowej).

Maksymalna wariancja związana z pomiarem czasu (z tabeli 1) dla temperatury -40°C wynosi:

$$u_{Abez}^2 = K^2 \cdot \sigma_{\max}^2 = 1,4^2 \cdot 0,75^2 [\text{s}^2] \quad (5)$$

Niepewność związana z badającym określono na podstawie sprawozdań z badań wyrobu WP-7M, które przeprowadzono w 1998 w WITU (oddano 15 strzałów, a trzech obserwatorów dokonali pomiaru dla tylko $m = 13$ obserwacji). Wyniki przedstawiono w tabeli 2 (wyniki dla innej niż w przykładzie 5, badanej tego samego dnia partii wyrobu WP-7M).

Czas samolikwidacji określano przez pomiar czasu od momentu wystrzału do zaobserwowania obłoku dymu w powietrzu, przez trzech niezależnych obserwatorów przy pomocy stoperów. Kąt celownika ok. 40° (Rys. 1), który zapewniał dobrą obserwację toru lotu pocisku.

Tabela 2

Badacz	Kolejny strzał (wynik w sekundach)														t_{sr}	σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1	4,74	4,62	4,52	4,75	4,74	4,53	4,80	4,27	4,63	4,70	4,71	4,63	4,60	4,63	0,14	
2	4,87	4,66	4,50	4,91	4,72	4,60	4,78	4,34	4,53	4,75	4,66	4,57	4,70	4,66	0,15	
3	4,72	4,61	4,66	4,81	4,7	4,66	4,82	4,36	4,53	4,66	4,59	4,59	4,60	4,64	0,12	
t_{sr3} [s]	4,78	4,63	4,56	4,82	4,72	4,60	4,80	4,32	4,56	4,70	4,65	4,60	4,63			
σ_3 [s]	0,08	0,03	0,09	0,08	0,02	0,07	0,02	0,05	0,06	0,05	0,06	0,03	0,06			
σ_3^2 [s]	0,007	0,001	0,008	0,007	0	0,004	0	0,002	0,003	0,002	0,004	0,001	0,003	$\Sigma\sigma_3^2$	0,042	



Rys. 1 Załadowany nabój KO-7M oraz moment zadziałania samolikwidatora
Źródło: opr. wł.

Przyjęto współczynnik korekcji $K = 2,3$ zgodnie z [4] i obliczono wariancję wnoszoną przez badającego, jako:

$$u_B^2 = K^2 \frac{\sum_{i=1}^m \delta_{3m}^2}{m} = 2,3^2 \cdot \frac{0,042}{13} = 2,3^2 \cdot 0,003 \text{ [s}^2\text{]}$$

Wariancja związana z użytym stoperem szacowana metodą typu B wynosi (dla założenia rozkładu trójkątnego i dopuszczalnego błędu pomiarowego $\Delta t = 0,01$ s wynosi:

$$u_P^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,01^2 \text{ [s}^2\text{]}$$

Ostatecznie niepewność związana z obiektem badanym - u_A , badającym - u_B i użytym przyrządem (stoperem) - u_P :

$$u_{CbezT} = \pm \sqrt{u_A^2 + u_B^2 + u_P^2}$$

Niepewność złożona:

$$u_{CbezT} = \pm \sqrt{1,4^2 \cdot 0,75^2 + 2,3^2 \cdot 0,003 + \frac{1}{6} \cdot 0,01^2} = \pm 1,06 \text{ [s]}$$

Ostatecznie maksymalna niepewność rozszerzona zgodnie z [4] metody badawczej, polegającej na pomiarze czasu dwoma stoperami, przy 95% ufności wynosi:

$$u_{bezT} = \pm k \cdot u_{CbezT} = \pm 2 \cdot 1,06 = \pm 2,12 \text{ [s]}$$

i błąd względny metody określenia czasu:

$$b_{bezT} = \frac{u_{bezT}}{t_{nom}} = \frac{2,12}{22} = 9,6\%,$$

bez uwzględnienia wpływu temperatury.

Ponieważ, temperatura (patrz tabela 1) ma dość istotny wpływ na wynik pomiaru czasu palenia się mas pirotechnicznych, należy również oszacować jej wpływ. W związku z tym maksymalna wariancja związana z badanym obiektem wyniesie:

$$u_A = \sqrt{u_{Tcons}^2 + u_T^2} \quad (6)$$

gdzie: $u_{Tcons}^2 = K^2 \cdot \sigma_{max}^2 = 1,4^2 \cdot 0,75^2 \text{ [s}^2\text{]}$ i została określona wcześniej z wzoru (5).

W celu określenia niepewności związanej z wpływem temperatury na czas palenia, na podstawie tabeli 1 wykonano wykresy (jako temperaturę otoczenia przyjęto 20°C) przedstawione na Rys. 2, na którym równania prostych opisują zależności zmiany czasu palenia się masy w funkcji temperatury (dla badanego zakresu temperatur). Współczynniki:

$$\Delta t_P = -0,0138 \text{ [s/}^\circ\text{]} \quad \text{i} \quad \Delta t_R = -0,0084 \text{ [s/}^\circ\text{]}$$

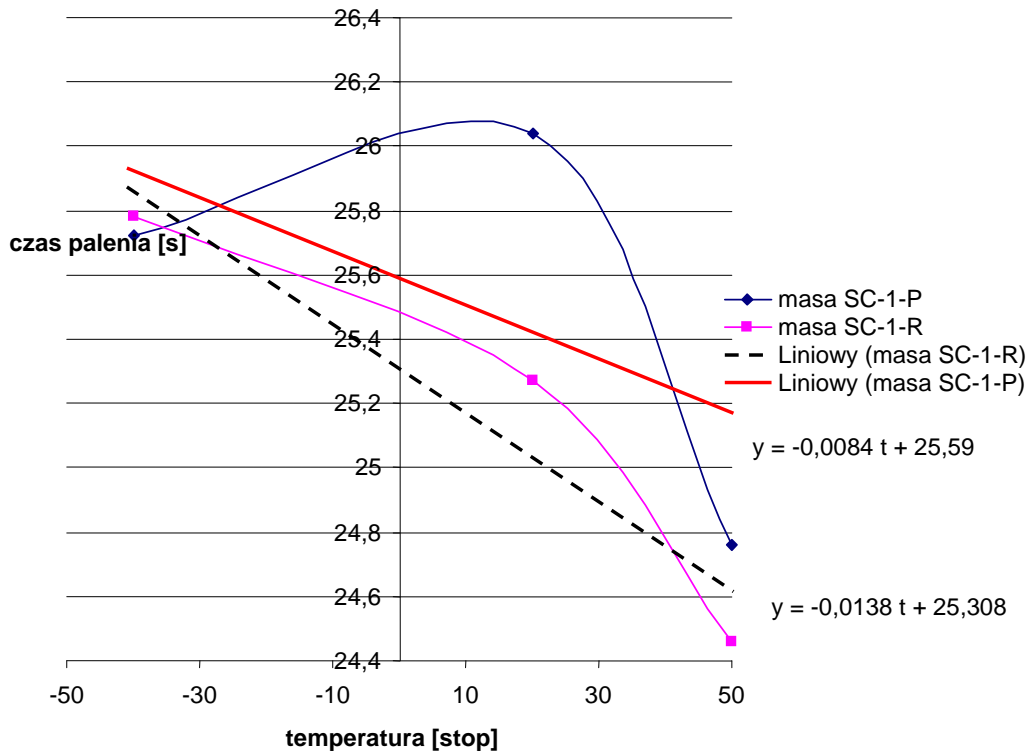
określają zmianę czasu palenia się mas, przy zmianie temperatury o jeden stopień, a wartości:

$$t_P = 25,59 \text{ [s]} \quad \text{i} \quad t_R = 25,308 \text{ [s]}$$

określają czas palenia się mas w temperaturze 273°K (0°C).

Przyjmując zmianę czasu palenia w funkcji temperatury, jako wartość średnią otrzymamy:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_P + \Delta t_R}{2} = -11,1 \cdot 10^{-3} \text{ [s/}^\circ\text{]}$$



Rys. 2 Zmiana czasu palenia się mas pirotechnicznej w funkcji temperatury
Źródło: opr. wł.

Ponieważ, badania odbiorcze prowadzi się w określonej temperaturze, a dokładność pomiaru temperatury w komorze, w czasie termostatowania jest $\pm 2^\circ\text{K}$, to niepewność związana z ww. czynnością zależy od maksymalnego błędu jaki jest możliwy do popełnienia podczas przetrzymywania amunicji w termostacie. Niepewność związana z wpływem temperatury na czas palenia wyniesie:

$$u_T = \Delta t_{\max} = 2 \cdot \Delta t = - 22,2 \cdot 10^{-3} \text{ [s]},$$

Niepewność złożona związana z badanym obiektem:

$$u_A = \sqrt{u_{T_{\text{cons}}}^2 + u_T^2} = \sqrt{1,4^2 \cdot 0,75^2 + (-0,0222)^2} = 1,05 \text{ [s]}$$

Niepewność złożona:

$$u_{CT} = \pm \sqrt{1,05^2 + 2,3^2 \cdot 0,003 + \frac{1}{6} \cdot 0,01^2} = \pm 1,06 \text{ [s]}$$

Ostatecznie maksymalna niepewność rozszerzona zgodnie z [4] metody badawczej, polegającej na pomiarze czasu dwoma stoperami, przy 95% ufności wynosi:

$$u_T = \pm k \cdot u_{CT} = \pm 2 \cdot 1,06 = \pm 2,12 \text{ [s]}$$

i błąd względny metody określenia czasu:

$$b_T = \frac{u_T}{t_{\text{nom}}} = \frac{2,12}{22} = 9,6\%.$$

Ostatecznie:

$$9,6\% = b_{\text{bez } T} \approx b_T = 9,6\%.$$

3. Uwagi końcowe

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że można oszacować niepewność metody badawczej polegającej na pomiarze czasu, przy użyciu stopera mechanicznego, czy elektronicznego. Dla konkretnego przypadku, badanie czasu działania opóźniaczy pirotechnicznych (samolikwidacji) otrzymujemy błąd (maksymalną rozszerzoną niepewność) rzędu kilkudziesięciu procent, a wnoszoną przede wszystkim przez opóźniacz pirotechniczny (gęstość i wysokość zaprasowywania masy pirotechnicznej).

Przeprowadzona analiza pokazuje także, że drugim czynnikiem, który ma wpływ na niepewność metody, wnosi badający. Dopóki będą wykonywane opóźniacze i smugacze o tak dużym rozrzucie czasów palenia, nie ma potrzeby stosowania doskonalszych metod pomiarowych, a zaproponowana metoda pomiarowa jest coraz lepsza, dokładniejsza, gdy mierzony czas działania jest dłuższy.

Przedstawiona analiza jednoznacznie wskazuje, że dopóki nie będziemy mieli dokładniej wykonanych smugaczy, których czas palenia zależy od temperatury (patrz Rys. 2) i jest porównywalny z niedokładnością użytego stopera, to nie zmniejszymy niepewności związanej z tak przyjętą metodą badawczą pomiaru czasu. Przedstawione w artykule przykłady pokazują, że dla konkretnego badania, np. samolikwidatora zapalnika ZUG (w czasie badania używamy tylko wyrobów jednej partii, które posiadają bardziej zawężone parametry) otrzymujemy o wiele mniejszą niepewność metody badawczej (błąd).

Literatura

- [1] Międzynarodowy słownik podstawowych i ogólnych terminów metrologii (VIM)
- [2] J. M. JAWORSKI „Niepewność pomiaru” (24 godz. wykład PCA - 1999r.)
- [3] „Walidacja i niepewność metod badawczych” DA/PC/E3-3/99
- [4] „Wyrażanie niepewności pomiaru” Przewodnik” GUM 1999
- [5] „Niepewność pomiaru. Podstawowe definicje i ogólne zasady określania niepewności” PTU zeszyt 81 – Nr 1/2002, str. 125-130
- [6] WT Nr 01181 Smugacz do pocisków artyleryjskich” (Nr ewid. WITU 149/D/D-11 WITU)
- [7] „WT Nr 05054-58”B” Wykonanie i odbiór smugaczy do pocisków artyleryjskich” Nr ewid. 13/VII-13/61 (165/D/D-11 WITU)
- [8] Smugacz Nr 9. Nr ewid. WITU 281/D/D-11
- [9] Smugacz Nr 2. Rys Nr 3-24577”L”. Indeks 53-ChR-022” Nr ewid. WITU 269/D/D-11
- [10] “Dokumentacja techniczna badań i odbioru części głowicowej i dennej zapalników Rys. Nr 3-023791”g”. Indeks 7W3” Nr ewid. WITU 1961/D/1/D-21
- [11] „Sprawozdanie z prób technologicznych mas SC-1-P i SC-1-R” pismo NKJ/933/2006 (załącznik do pisma wch. WITU 2093 z dn. 23.06.2006r.)

TIME MEASUREMENT – UNCERTAINTY OF TEST METHODS

In this paper it was given uncertainty of test method on time measurement with usage of stopwatch type of chronograph, used during time measurement in order to determine eg. burning time of self-destruction devices, pyrotechnic delayers or tracers (applied in artillery or tank ammunition), to determine time of self-destruction of missiles or grenade rocket launchers by two independent ways. The first way is realized through so called “uncertainty budget” (type

B method according to ISO Guide) and by the second way is realized by so called “type B method” (statistical analysis method). It was proved that uncertainty assessment of test method based on time measurement by type A method minimizes error (uncertainty) of the test method in relation to uncertainty assessment by type B test method. In determination of error (uncertainty) of time measurement by means of type A test method all factors influencing measurement results were considered.