



## Pomiary temperatury powietrza w rejonie wybuchu głowicy RA-79 niekierowanego lotniczego pocisku raketowego S-7

ANDRZEJ DŁUGOŁĘCKI, ANDRZEJ FARYŃSKI,  
ZBIGNIEW ZIÓŁKOWSKI

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych,  
ul. Księcia Bolesława 6, 01-494 Warszawa

**Streszczenie.** Przedstawiono metodę i wyniki pomiarów temperatury (termometrem rezystancyjnym konstrukcji własnej) otaczającego powietrza w czasie eksplozji głowicy RA-79. Zastosowana metoda, przy podobnym zakresie zarejestrowanych zmian temperatury ( $\Delta T \sim 10$  K), pozwoliła na uzyskanie znacznie większej rozdzielczości czasowej (ok. 300  $\mu$ s), niż w przypadku termopar, zastosowanych gdzie indziej w podobnych eksperymentach (ok. 0,2 s).

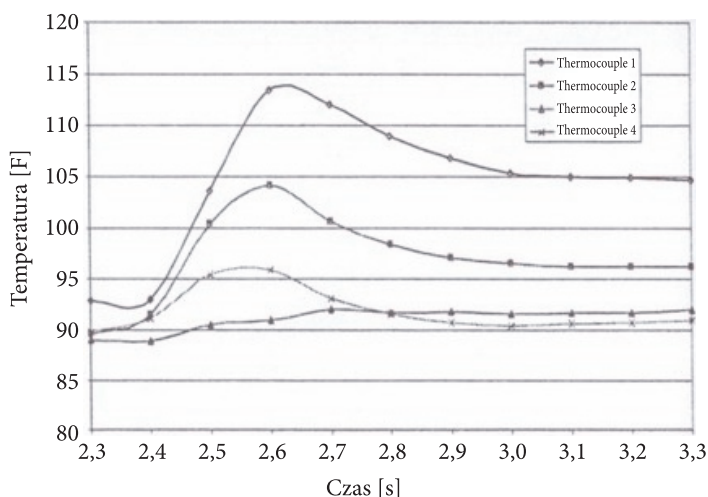
**Słowa kluczowe:** wybuch, działanie zapalające, termometr rezystancyjny, pomiar temperatury

### 1. Wstęp

Przygotowywany do wprowadzenia w WP niekierowany lotniczy pocisk raketowy S-7, będący licencyjną odmianą używanej w NATO rakiety Hydra-70, posiadać będzie na obecnym etapie głowicę RA-79 (produkcji NAMMO w Norwegii), która oprócz działania odłamkowo-burzącego (ok. 0,46 kg materiału wybuchowego TNT/RDX) ma również własności zapalające (wkładka ok. 15 cm<sup>3</sup> piroforycznego cyrkonu w części dennej). Opisane niżej badania wykonywane w ramach kompleksowych eksperymentów [1, 2] z głowicą tego typu prowadzono w oparciu o metodykę i w geometrii podanych w [3] dla podobnej głowicy M151.

Do zobrazowania szeroko rozumianego oddziaływania termicznego eksplodującego ładunku wybuchowego na otoczenie wykorzystano specjalnie zaprojektowane i wykonane w ITWL termometry, mierzące skutki lokalnego przewodzenia

i konwekcji ciepła (powietrze nagrzane przez falę uderzeniową i przeniesione przez strumienie powybuchowe) w warunkach, w których stosowanie termopar może dawać wyniki trudne do interpretacji (patrz [3] i rys. 1, gdzie czasy narastania temperatury wynosiły ok. 0,2 s przy amplitudzie jej przyrostu do ok. 10 K).

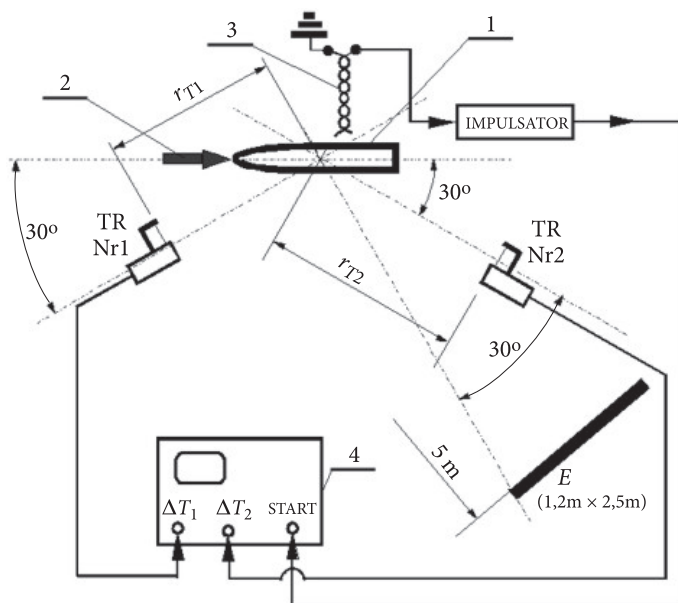


Rys. 1. Zarejestrowane w [3] przebiegi temperatury w sąsiedztwie efektów działania zapalającego głowicy bojowej

## 2. Schemat eksperymentu

Rzut poziomy wzajemnego rozmieszczenia badanej głowicy i urządzeń pomiarowo-rejestrujących (na wysokości 1 m nad ziemią) przedstawiono na rysunku 2. Głowica bojowa „1” o ładunku materiału wybuchowego (MW) pobudzonym od strony nosa („2” na rys. 2) rozrzucała po wybuchu cyrkon (oczekiwano, że jego wyrzut nastąpi głównie w półsferę przeciwną do kierunku, w który zwrócony był nos głowicy), zapalający się w kontakcie z powietrzem i mogący podpalić nasycony benzyną ekran z materiałów łatwopalnych E, znajdujący się w pobliżu. Czujnik zwarciovowy 3 za pośrednictwem generatora impulsów wyzwał — wraz z początkiem ekspansji korpusu głowicy — podstawę czasu oscyloskopu cyfrowego, za pomocą którego rejestrowano przebiegi sygnałów z termometrów rezystancyjnych.

Rezystancyjne termometry TR Nr1 i TR Nr2 miały zmierzyć zmiany temperatury powietrza w otoczeniu głowicy od chwili jej wybuchu, co obrazowałyby proces podpalenia ekranu E oraz umożliwiło określenie kierunku wyrzutu kawałków cyrkonu.



Rys. 2. Schemat układu badawczego (proporcje niezachowane): 1 — głowica bojowa; 2 — kierunek pobudzenia detonacji (nos głowicy); 3 — zwarciovowy czujnik drutowy (startowy); 4 — oscyloskop; TR Nr1 i Nr2 — rezystancyjne termometry do pomiaru temperatury powietrza; E — ekran nasączony benzyną

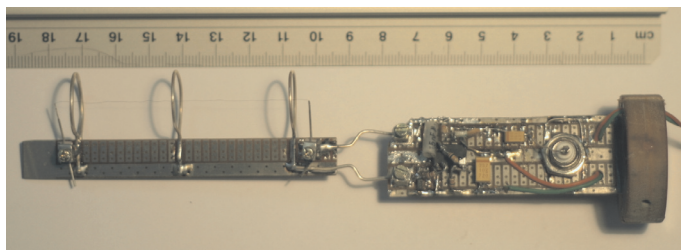
### 3. Konstrukcja i własności czujnika

#### 3.1. Budowa

W celu zmniejszenia bezwładności cieplnej czujnika użyto jako elementu czynnego dostępnego w handlu, odpowiednio cienkiego drutu wolframowego o średnicy  $d = 45 \mu\text{m}$ ; rejestrowano zmiany jego rezystancji  $R = R_0 + \alpha \Delta T$  w trakcie nagrzewania ( $\Delta T$  — przyrost temperatury). Średnica drutu jest porównywalna z grubością frontu fali uderzeniowej, przez co nie wprowadza on dużych zaburzeń do przepływu, w którym mierzy się temperaturę.

Drut ten umieszczony był prostopadle do oczekiwanego kierunku przepływu ogrzanego powietrza, na wspornikach — kapilarach ze stali nierdzewnej o średnicy ok. 0,5 mm, mocowanych do dielektrycznej podstawy, doprowadzających stabilizowany w czasie prąd elektryczny. Zmiana napięcia na zaciskach drutu była więc  $\Delta U \sim \Delta T$ . Natężenie prądu  $I$  dobrano tak, by grzanie omowe drutu ( $\Delta T_R$ ) było do pominięcia w porównaniu z grzaniem przez otaczające powietrze (przy  $R_0 = 3,5 \Omega$  i  $I = 1,5 \text{ mA}$  w ciągu  $\Delta t = 5 \text{ s}$  i przy braku chłodzenia otrzymuje się  $\Delta T_R \approx (4/\pi)^2 I^2 \Delta t / (\sigma \rho c_p d^4) \approx 0,1 \text{ K}$ ; natomiast przy  $I = 3,5 \text{ mA}$ ,  $\Delta T_R \approx 0,5 \text{ K}$ ; dla wolframu  $\alpha = 0,0046 \text{ 1/K}$ ,  $\sigma = 1,85 \times 10^7 \text{ 1}/\Omega/\text{m}$  w  $T = 298 \text{ K}$ ,  $\rho = 19\,270 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $c_p = 132 \text{ J}/\text{kg}/\text{K}$  [4]).

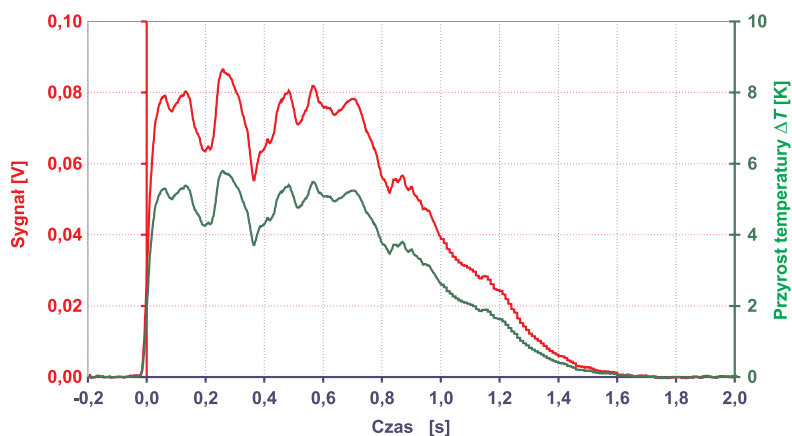
Sygnal z czujnika podawany był na rejestrator (oscylloskop cyfrowy) poprzez zasilany z baterii o napięciu 9 V wzmacniacz o wzmocnieniu napięciowym równym 200, zmontowany na jednej płytce ze stabilizatorem prądu (rys. 3).



Rys. 3. Wygląd czujnika połączonego z płytką ze wzmacniaczem (pierścienie ochraniają drut przed przypadkowym zerwaniem)

### 3.2. Stała miernika temperatury

Stałą temperaturową  $\kappa$  czujnika ze wzmacniaczem wyznaczono w oparciu o znajomość tablicowej wartości współczynnika  $\alpha$  dla każdego z kilku egzemplarzy oddzielnie, w oparciu o pomiary rezystancji danego egzemplarza. Uzyskane stałe (czułości) zawierały się w granicach  $\kappa = (81-100) \pm 1$  K/V. Przykład próbnego przebiegu sygnału uzyskanego za pomocą jednego z czujników pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Zapis przyrostów temperatury powietrza przy wdmuchnięciu w obszar czujnika powietrza znad rozgrzanej lutownicy

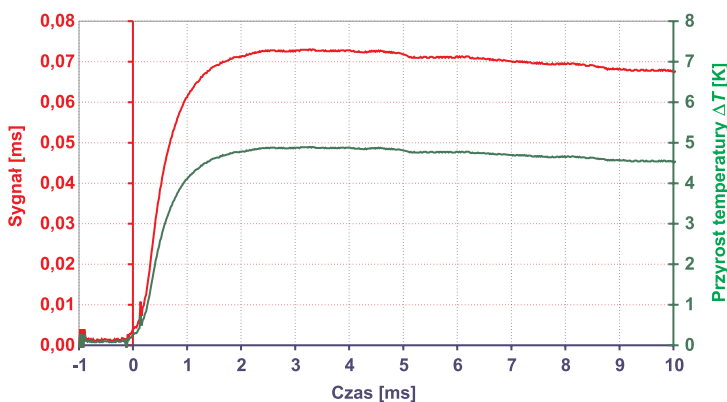
### 3.3. Stałe czasowe

Rezystancja drutu jako czujnika jest „dobrze określona” przy jednorodnym rozkładzie temperatury w całej jego objętości i jednorodnym rozkładzie gęstości prądu w przekroju poprzecznym. Warunki te osiągane są z wystarczającą dokładnością odpowiednio po określonych dalej czasach  $\tau_T$  (temperatura) oraz  $\tau_I$  (gęstość prądu), w których ciepło i pole elektromagnetyczne dyfundują do wnętrza drutu. Oba procesy opisuje to samo równanie dyfuzji (z dokładnością do współczynników), a wystarczająco dobrymi (do celów szacowań) ich wskaźnikami są — w przybliżeniu jednowymiarowego ośrodka półnieskończonego i wymuszenia na brzegu w postaci wartości stałej (funkcja Heavisida)  $T_0$  lub  $B_0$  (dla pola magnetycznego) — głębokości wnikania  $s_T = (\lambda t / \rho c_p)^{1/2}$  (ciepło) i  $s_I = (t / \sigma \mu_0)^{1/2}$  (pole elektromagnetyczne) [5], na których dyfundująca wielkość maleje w grubym przybliżeniu  $e$ -krotnie w porównaniu z wartością na brzegu. Tutaj  $t$  jest czasem dyfuzji,  $\lambda = 174 \text{ W/m/K}$  — współczynnikiem przewodnictwa cieplnego wolframu,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$  — przenikalnością dielektryczną próżni. Podstawiając  $s_T \sim d$  i  $s_I \sim d$ , dostajemy

$$\tau_T \sim d^2 \rho c_p / \lambda = 29,6 \text{ } \mu\text{s}, \quad \tau_I \sim d^2 \sigma \mu_0 = 47,1 \text{ ns.}$$

Jak widać, o charakterystykach czasowych czujnika decyduje dyfuzja ciepła; odtwarza on zmiany temperatury otoczenia  $T(t)$ , jeżeli czasy charakterystyczne tych zmian wynoszą  $|T/(dT/dt)| \gg \tau_T$ , a więc co najmniej  $300 \text{ } \mu\text{s}$ . Daje to potencjalną możliwość dwa, trzy rzędy wielkości lepszej czasowej zdolności rozdzielczej przyrządu niż wspomniana na wstępie (rys. 1).

Sprawdzenia zdolności odtwarzania kształtu impulsu termicznego dokonano za pomocą fotograficznej lampy błyskowej (rys. 5), której „błysk” spełniał rolę impulsowego źródła ciepła o czasie trwania ok.  $0,3 \text{ ms}$ . Rurkę wyładowczą



Rys. 5. Zapis przyrostów temperatury czujnika nagrzewanego impulsowo (czas nagrzewania ok.  $0,3 \text{ ms}$ )

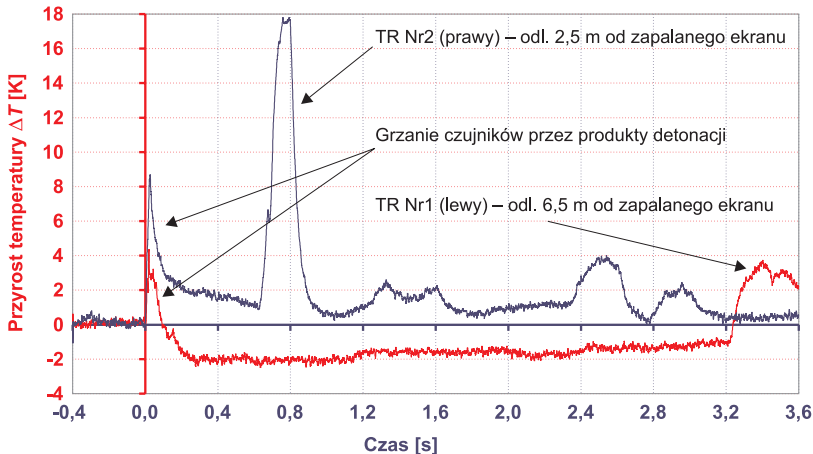
lampy umieszczono równolegle do drutu wolframowego w odległości ok. 4 cm od niego.

Krótki czas nagrzewania pozwolił stwierdzić, że faktyczna stała czasowa czujnika (czas wyrównywania temperatury w całym przekroju drutu wolframowego) wynosiła ok. 1,5 ms.

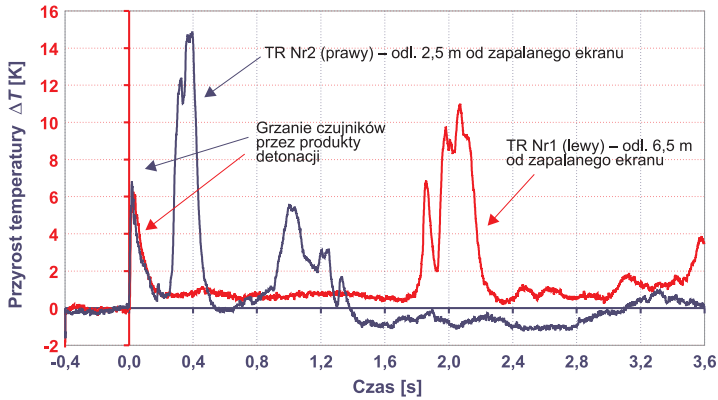
#### 4. Wyniki poligonowych pomiarów temperatury

Termometry rezystancyjne rozmieszczono (rys. 2) po „lewej” i „prawej” stronie głowicy — w czasie strzałów 1 i 2 symetrycznie, w odległości  $r_{T1} \approx r_{T2} \approx 3$  m od niej; w czasie strzału 3, w związku z przeniesieniem punktu detonowania głowicy — „lewy” w odległości  $r_{T1} \approx 7,5$  m, „prawy” w odległości  $r_{T2} \approx 6,5$  m od niej. Przebiegi zmian temperatury, zarejestrowane w kolejnych strzałach, zostały pokazane na rysunku 6, 7 i 8 ( $\Delta T = 0$  oznacza początkową temperaturę otoczenia).

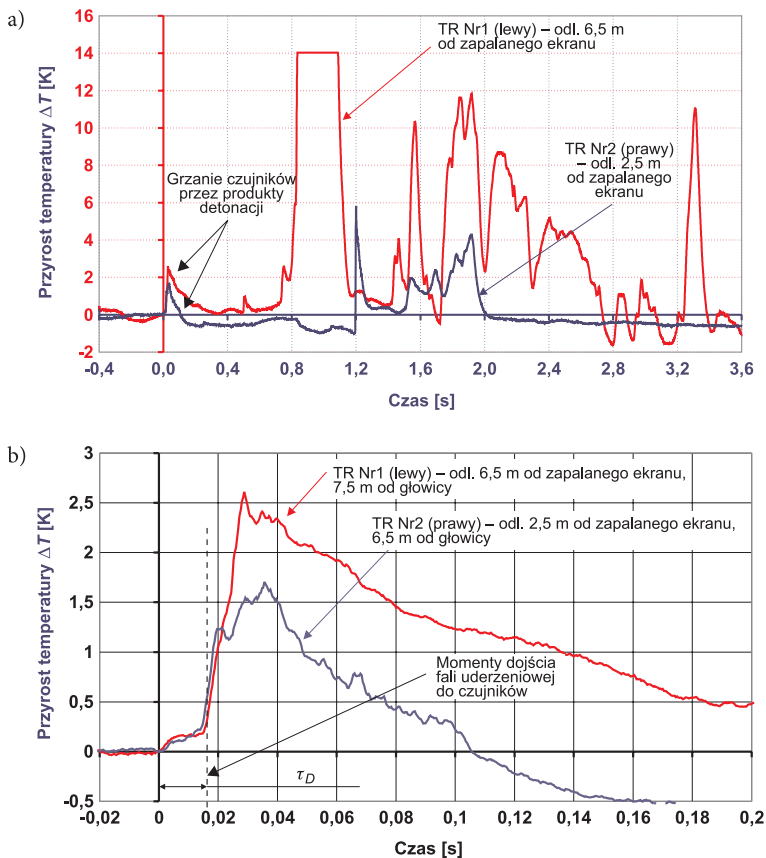
Początki tych przebiegów — piki temperatury o amplitudzie  $\Delta T = 2-8$  K — obrazują grzanie czujników przez produkty detonacji, co dokładniej pokazano na rysunku 8b: od momentu wybuchu czujniki były grzane przez jego promieniowanie ciepłe, dające plateau  $\Delta T \approx 0,2$  K; od chwili  $\tau_D$  grzanie przejęły produkty detonacji; wyznaczona jako  $v_D = r_{T1,2} / \tau_D = 450-490$  m/s średnia prędkość fali uderzeniowej zgadza się w granicach błędów z  $v_D \approx 430$  m/s, wyznaczoną w [2] w tym samym strzale dla zbliżonej odległości za pomocą czujników ciśnienia. Działanie nagrzaných gazów podetonacyjnych kończyło się po ok. 200 ms.



Rys. 6. Zapisy przyrostów temperatury w funkcji czasu, zarejestrowane za pomocą „lewego” i „prawego” termometru rezystancyjnego (patrz rys. 2) w czasie strzału 1



Rys. 7. Zapisy przyrostów temperatury w funkcji czasu, zarejestrowane za pomocą „lewego” i „prawego” termometru rezystancyjnego (patrz rys. 2) w czasie strzału 2



Rys. 8. Zapisy przyrostów temperatury w funkcji czasu, zarejestrowane za pomocą „lewego” i „prawego” termometru rezystancyjnego (patrz rys. 2) w czasie strzału 3; (b) — rozciągnięty w czasie początek przebiegów z rysunku (a)

Dalszy ciąg przebiegów odpowiada procesom palenia się różnych obiektów w otoczeniu eksplodujących głowic, za co odpowiedzialne były ziarna Zr, rozrzucone przez wybuch za odłamkami.

Płonący cyrkon w strzałach 1 i 2 leciał głównie w „prawo” i podpalał ekran nasączony benzyną („E”, rys. 2), natomiast w strzale 3, gdy głowica zwrócona była nosem w stronę przeciwną do ustawień poprzednich, zamiast ekranu podpaleniu uległy suche rośliny w odległości do kilkudziesięciu metrów za częścią denną głowicy (w „lewo”). Zgodnie z oczekiwaniem, w strzałach 1 i 2 ciepło od płomieni docierało najpierw do czujnika prawego (bliższego), następnie do lewego, dając impulsy (rys. 6 i 7) o podobnych do siebie kształtach, świadczące o pochodzeniu od tego samego źródła; w strzale 3 było odwrotnie, a kształty impulsów (rys. 8) z obu czujników zdecydowanie różniły się od siebie, świadcząc o istnieniu tam kilku ognisk płomienia. Za przyrost lokalnej temperatury o 10-15 K mogły odpowiadać zarówno przewodnictwo cieplne, jak i jego konwekcja w strumieniach powietrza wytwarzanych przez wybuch i płonący obiekt.

## 5. Podsumowanie

1. Skonstruowano, określono jego właściwości i wypróbowano termometr rezystancyjny o czasie narastania dwa rzędy krótszym od czasu narastania termopar.
2. Zastosowano go z powodzeniem w pomiarach w trakcie procesów związanych z wybuchem.
3. Uzyskanie czytelnego obrazu procesu podpalania obiektów przez głowicę wymagałoby użycia większej ilości takich czujników, rozstawionych w terenie, rejestracji ich sygnałów w dłuższym przedziale czasu i zsynchronizowania ich z zapisem z kamery filmowej.

Artykuł wpłynął do redakcji 26.05.2010 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w czerwcu 2010 r.

### LITERATURA

- [1] A. FARYŃSKI, A. DŁUGOLECKI, Z. ZIÓLKOWSKI, *Pomiary charakterystyk odłamków głowicy niekierowanego lotniczego pocisku raketowego 70 mm*, VII Międzynarodowa Konferencja Uzbrojeniowa „Naukowe Aspekty Techniki Uzbrojenia i Bezpieczeństwa”, Pułtusk, 8 -10.10.2008 r. (także Biul. WAT, 57, 3, 2008).
- [2] A. FARYŃSKI, A. DŁUGOLECKI, Z. ZIÓLKOWSKI, *Pomiary parametrów fali uderzeniowej wytwarzanej przez wybuch głowicy niekierowanego lotniczego pocisku raketowego 70 mm*, VII Międzynarodowa Konferencja Uzbrojeniowa „Naukowe Aspekty Techniki Uzbrojenia i Bezpieczeństwa”, Pułtusk, 8-10.10.2008 r. (także Biul. WAT, 57, 3, 2008).
- [3] *TBX Evaluation Testing in the M151 Warhead as Risk Reduction for the APKWS*, 2005 NDIA Missiles & Rockets Symposium, Jason Gilliam, 28 April 2005.



- 
- [4] W. MIZERSKI (red.), *Tablice Fizyczno-Astronomiczne*, wyd. Adamantan, Warszawa, 2002.
- [5] H. KNOEPFEL, *Sverkhshilnyje impulsnyje magnitnyje polja*, izd. „Mir”, Moskwa, 1972 (j. ros., tłum z ang. *Pulsed High Magnetic Fields*, Amsterdam–London, 1970).

A. DŁUGOŁĘCKI, A. FARYŃSKI, Z. ZIÓŁKOWSKI

**Air temperature measurements in the vicinity of explosion epicenter of 70-mm  
air-to-ground unguided missile warhead**

**Abstract.** The measurement method, as well as the results of the ambient air temperature measurements (with an aid of the authors' construction resistance thermometer) during the RA-79 warhead explosion was presented. The method used enabled much greater time resolving power (300  $\mu$ s approx.) than in the case of thermocouples applied elsewhere in similar experiments (0.2 s approx.).

**Keywords:** explosion, incendiary action, resistance thermometer, temperature measurement

