

**Emil WOŹNIAK**

CENTRALNY OŚRODEK METROLOGII WOJSKOWEJ

**Szacowanie i wyrażanie niepewności pomiaru w Centralnym Ośrodku Metrologii Wojskowej****Por. mgr inż. Emil Woźniak****Starszy inżynier Zakładu Metrologii Elektrycznej i Termotechnicznej w Centralnym Ośrodku Metrologii Wojskowej od 1998 r.**

Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej w 1998 r. Po ukończeniu studiów rozpoczął pracę w Centralnym Ośrodku Metrologii Wojskowej, gdzie w latach 1998 do 2001 zajmował się pomiarami wielkości radiotechnicznych. Obecnie zajmuje się pomiarami wielkości elektrycznych w zakresie kalibracji przyrządów pomiarowych. Jest autorem wielu instrukcji kalibracji kontrolnych przyrządów pomiarowych i kilku wniosków racjonalizatorskich.

ewozniak@comw.com.pl

**Streszczenie**

W artykule zaprezentowano w dwóch przykładach metodykę szacowania niepewności pomiaru na stanowiskach do kalibracji przyrządów pomiarowych w Centralnym Ośrodku Metrologii Wojskowej. Pierwszy przykład obejmuje procedurę szacowania niepewności wyznaczania poprawek częstotliwościowych mikrofalowego przetwornika mocy HP-8481A, współpracującego z miernikiem mocy HP-438B. W drugim przykładzie przedstawiono procedurę szacowania niepewności pomiaru dla stanowiska do kalibracji barometrów hydrostatycznych B3. Przedstawione przykłady prezentują metody przyjęte podczas szacowania niepewności pomiaru dla szczególnego przypadku kalibracji wykonywanej w laboratorium metrologicznym. W obu przykładach przedstawiono kolejne kroki procedury szacowania niepewności, ze szczególnym uwzględnieniem analizy źródeł niepewności, prowadzące do obliczenia złożonej niepewności standardowej i niepewności rozszerzonej.

**Abstract**

Methods of uncertainty evaluation of measuring installations for measuring instruments calibration at the Primary Standards Laboratory in two examples were presented in the article. The first one concerns a procedure for uncertainty evaluation, related to the determination of calibration factors of microwave power sensor HP-8481A interacting with power meter HP-438B. The second example concerns a procedure for uncertainty evaluation, related to the measuring installation for hydrostatic barometers (B3) calibration. The two examples present methods applied for measurement uncertainty evaluation for a very particular case of calibration performed at the calibration laboratory. Both examples present consecutive steps of uncertainty evaluation procedure, focused in a very considerable manner on uncertainty sources analysis, leading to calculation of standard combined uncertainty and expanded uncertainty.

**Słowa kluczowe:** niepewność pomiarowa, szacowanie niepewności, kalibracja, przetwornik pomiarowy, barometr hydrostatyczny

**Keywords:** uncertainty of measurement, uncertainty evaluation, calibration, power sensor, hydrostatic barometer

**1. Wstęp**

Centralny Ośrodek Metrologii Wojskowej jest laboratorium pomiarowym, którego jedną ze statutowych funkcji jest pośredniczenie w przekazywaniu jednostki miary od wzorca państwowego do przyrządów pomiarowych użytkowych stosowanych w resorcie Obrony Narodowej. Przekazywanie jednostki miary w COMW realizowane jest w formie kalibracji przyrządów pomiarowych, stanowiących wzorce odniesienia laboratoriów niższego rzędu.

Do podstawowych parametrów charakteryzujących jakość wykonywanych kalibracji jest niepewność pomiaru. Zunifikowana niepewność pomiaru gwarantuje utrzymanie spójności pomiarowej w resorcie ON, umożliwia właściwą ocenę wyników kalibracji oraz zapewnia porównywalność wyników pomiarów w laboratoriach.

Konieczność oszacowania niepewności pomiaru w laboratorium pomiarowym wypływa bezpośrednio z zaleceń polskich i zagranicznych urzędów miar oraz organizacji nadzorujących laboratoria akredytowane. Instrukcja dotycząca szacowania niepewności pomiaru w laboratorium pomiarowym stanowi obecnie istotny element utrzymywanego w laboratorium systemu jakości.

Niepewność pomiaru na stanowiskach pomiarowych w Centralnym Ośrodku Metrologii Wojskowej oszacowano w oparciu o obowiązujące przepisy metrologiczne i zalecaną literaturę. Podstawowymi dokumentami odniesienia są: Polska Norma PN-EN ISO/IEC 17025 [1], polska edycja publikacji „Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik” [2] oraz dokument EA-4/02 [3].

Artykuł niniejszy prezentuje metodykę szacowania niepewności pomiaru przyjętą w Centralnym Ośrodku Metrologii Wojskowej na przykładzie stanowiska pomiarowego do kalibracji w zakresie wielkości elektrycznej - mocy mikrofalowej i wielkości nieelektrycznej - ciśnienia absolutnego.

W przyjętej procedurze szacowania niepewności wyróżnić można następujące kroki:

- Zbudowanie modelu matematycznego pomiaru,
- Analiza źródeł niepewności, określenie estymat wielkości wejściowych i ich niepewności standardowych,
- Jeżeli występuje korelacja pomiędzy wielkościami wejściowymi wyznaczenie odpowiednich kowariancji,
- Obliczenie współczynników wrażliwości,
- Opracowanie budżetu niepewności i obliczenie złożonej niepewności standardowej,
- Obliczenie niepewności rozszerzonej,
- Obliczenie estymaty wielkości wyjściowej i przedstawienie wyniku pomiaru.

Krytycznymi krokami procedury szacowania niepewności jest właściwe zdefiniowanie wielkości wyjściowej, zbudowanie modelu matematycznego pomiaru oraz analiza źródeł niepewności.

Model matematyczny pomiaru (równanie pomiaru) jest definicją wielkości wyjściowej, matematyczną zależnością wielkości wyjściowej od wielkości wejściowych, spośród których znajdują się wielkości wpływające na estymatę wielkości wyjściowej, poprawki oraz czynniki odnoszące się do niepewności składowych pomiaru. W przypadku kalibracji wielkością wyjściową jest najczęściej poprawka przyrządu kalibrowanego wyznaczana w odniesieniu do wzorca.

Analiza źródeł niepewności obejmuje czynności prowadzące do obliczenia niepewności standardowych związanych z poszczególnymi elementami modelu matematycznego pomiaru. W przypadku oszacowania niepewności typu B, poszczególnym błędem składowym przypisane zostają odpowiednie rozkłady prawdopodobieństwa.

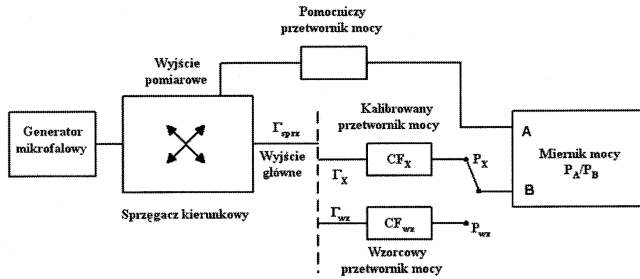
Etap ten zakończony jest obliczeniem niepewności standardowych, po którym procedura szacowania niepewności ma już najczęściej charakter czysto obliczeniowy.

**2. Niepewność wyznaczania poprawek częstotliwościowych mikrofalowego przetwornika mocy****2.1. Metoda pomiarowa, układ pomiarowy i model matematyczny pomiaru**

W zakresie częstotliwości 10 MHz do 18 GHz kalibracja przetworników mocy w Centralnym Ośrodku Metrologii Wojskowej realizowana jest w oparciu o stanowisko pomiarowe jak na rys. 1.

Pomiar na stanowisku obejmuje kalibrację nieznanego przetwornika mocy (zwanego dalej przetwornikiem kalibrowanym) w stosunku

do przetwornika wzorcowego metodą podstawienia. Celem kalibracji przetwornika mocy jest wyznaczenie z określoną niepewnością jego częstotliwościowego współczynnika  $CF$  (ang. *calibration factor*) w oparciu o wzorcowy przetwornik mocy o znanych współczynnikach  $CF$ .



Rys. 1. Schemat ideowy układu pomiarowego do wyznaczania poprawek częstotliwościowych mikrofalowego przetwornika mocy

Fig. 1. Schematic diagram of measuring installation for the determination of calibration factors of microwave power sensor

Pomiar polega na wyznaczeniu stosunku mocy wskazanej przez przetwornik kalibrowany i wzorcowy do mocy wskazanej przez przetwornik pomocniczy dla częstotliwości odniesienia 50 MHz oraz kolejnych częstotliwości w zakresie pracy przetwornika mocy. Miernik mocy pracuje w trybie pomiaru stosunku mocy z dwóch kanałów. Współczynnik kalibracji przetwornika kalibrowanego wyznaczany jest na podstawie wzoru:

$$CF_x = (CF_{wz} + \delta CF) \frac{M_{wz,odn} M_x P_{roz} P}{M_{wz} M_{x,odn}} \quad (1)$$

gdzie:  $CF_{wz}$  - współczynnik kalibracji przetwornika wzorcowego przy danej częstotliwości, wyznaczony w Głównym Urzędzie Miar,  $\delta CF$  - poprawka na dryft czasowy współczynnika kalibracji,  $M_{wz,odn}$ ,  $M_x$ ,  $M_{wz}$ ,  $M_{x,odn}$  - współczynniki niedopasowania,  $P_{roz}$  - parametr odnoszący się do niepewności związanej z rozdzielczością miernika mocy.

Parametr  $P$ , jak we wzorze (1) obliczony zostaje na podstawie pomiarów czterech zmierzonych stosunków mocy i wynosi:

$$P = \frac{P_{wz,odn} P_x}{P_{wz} P_{x,odn}} \quad (2)$$

gdzie:  $P_{wz,odn}$ ,  $P_x$ ,  $P_{wz}$ ,  $P_{x,odn}$  - stosunki mocy wyznaczone na mierniku mocy.

Wzory (1) i (2) stanowią model matematyczny pomiaru (równania pomiaru).

We wzorze (1) występują współczynniki niedopasowania, obliczone na podstawie zmierzonych współczynników odbicia od strony przetworników, przy znanym małym współczynniku odbicia od strony sprzęgacza kierunkowego.

## 2.2. Źródła niepewności

- Niepewność standardowa kalibracji wzorcowego przetwornika mocy dla częstotliwości 1 GHz, obliczona na podstawie świadectwa wzorcowania otrzymanego z Głównego Urzędu Miar  $CF_{z1000} = 0,994 \pm 0,011$  dla współczynnika rozszerzenia  $k=2$ , tj. poziomu ufności 95%,
- Niepewność standardowa współczynnika kalibracji związana z jego dryfem czasowym  $\delta CF$  o wartości -0,001, obliczona na podstawie błędu granicznego  $\pm 0,002$ ,
- Niepewność liniowości miernika mocy i przetworników mocy są pomijalnie małe, ponieważ pomiar na każdym szczeblu w hierarchicznym układzie kalibracji odbywa się dla tej samej wartości mocy 1 mW (0 dBm),
- Niepewność mocy kalibratora wewnętrznego i niepewność niedopasowania są pomijalnie małe ze względu na charakter pomiaru, tj. pomiar stosunków mocy, nie zaś wartości bezwzględnej mocy,
- Szum miernika mocy i przetwornika (stabilność krótkoterminowa) są pomijalnie małe, rzędu nW w stosunku do wartości mocy

- mierzonej 1 mW w niezmiennych warunkach pomiaru (1 minuta),
- Niepewność zerowania miernika mocy i dryft zera są pomijalnie małe, rzędu nW w stosunku do wartości 1 mW w niezmiennych warunkach pomiaru (1 minuta),
- Niepewność standardowa związana ze skończoną rozdzielczością miernika mocy  $P_{roz}$ , obliczona przy założeniu akumulowania się niepewności pomiaru stosunków mocy, na podstawie błędu granicznego  $\pm 0,0002$ ,
- Niepewności standardowe niedopasowania obliczone dla częstotliwości odniesienia 50 MHz i częstotliwości kalibracji 1 GHz, związane z parametrami  $M_{wz,50}$ ,  $M_{wz,1000}$ ,  $M_{x,50}$  i  $M_{x,1000}$ , na podstawie zmierzonych współczynników odbicia od strony przetwornika wzorcowego, przetwornika kalibrowanego i sprzęgacza kierunkowego,
- Niepewność standardowa rozrzutu parametrów złącza pomiarowego, obliczona na podstawie rozrzutu statystycznego wartości wielkości mierzonej  $P$  w serii pomiarów, jak w tabeli 1.

Tabela 1. Niepewność standardowa rozrzutu parametrów złącza pomiarowego

Table 1. The standard uncertainty of dispersion of measuring connector parameters

Numer pomiaru	$P_{wz,50}$	$P_{wz,1000}$	$P_{x,50}$	$P_{x,1000}$	$P$
1	1,0001	0,9936	1,0001	0,9666	0,9729
2	1,0000	0,9956	1,0000	0,9617	0,9660
3	0,9999	0,9947	1,0000	0,9788	0,9839

## 2.3. Złożona niepewność standardowa i budżet niepewności

Współczynniki wrażliwości  $c_i$  obliczono licząc pochodne cząstkowe wartości wyjściowej modelu matematycznego pomiaru  $CF_x$  po wielkościach wejściowych  $x_i$ .

Przyjęto założenie, że żadne z wielkości wejściowych nie są skorelowane w istotnym stopniu. Tabela 2 stanowi budżet niepewności do obliczenia złożonej niepewności standardowej wyznaczenia poprawki częstotliwościowej  $CF$  dla częstotliwości 1 GHz.

Tabela 2. Budżet niepewności

Table 2. Uncertainty budget

Wielkość $X_i$	Estymata $x_i$	Niepewn. Standard. $u(x_i)$	Rozkład prawdop.	Współcz. wrażliw. $c_i$	Składowa niepewn. $u_i(y)$
$CF_{wz,1000}$	0,994	0,0055	norm.	0,974	0,00536
$\delta CF$	-0,001	0,0012	prost.	0,974	0,00117
$M_{wz,50}$	1,000	0,0010	typu „U”	0,967	0,00097
$M_{wz,1000}$	1,000	0,0014	typu „U”	-0,967	-0,00135
$M_{x,50}$	1,000	0,0019	typu „U”	-0,967	-0,00184
$M_{x,1000}$	1,000	0,0018	typu „U”	0,967	0,00174
$P_{roz}$	1,000	0,0001	prost.	0,967	0,00010
$P$	0,974	0,0052	norm.	0,993	0,00516

Złożona niepewność standardowa wynosi  $u_c(CF_{x1000}) = 0,00811$ .

W budżecie niepewności dominują dwa składniki o rozkładach normalnych, o zbliżonych do siebie wagach. Na podstawie centralnego twierdzenia granicznego złożonej niepewności standardowej

przypisano rozkład normalny. Niepewność rozszerzona dla współczynnika rozszerzenia  $k=2$ , czyli dla poziomu ufności 95% wynosi więc:

$$U = k \cdot u_c(CF_{X1000}) = 2 \cdot 0,00811 = 0,017 \quad (3)$$

## 2.4. Zapis wyniku pomiaru

Wynik pomiaru poprawki częstotliwościowej kalibrowanego przetwornika mocy zapisany w świadectwie kalibracji powinien zawierać następujące informacje:

Poprawka częstotliwościowa przetwornika mocy typ *HP8481A* nr *AB123456* przy częstotliwości *1 GHz* wynosi  $(96,7 \pm 1,7)\%$ . Niepewność rozszerzoną podano przy poziomie ufności 95%. Wartość niepewności określono zgodnie z publikacją „Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik”, GUM 1999.

Kalibracja przetwornika mocy dotyczy całego zakresu częstotliwości. W praktyce wartości niepewności poprawek częstotliwościowych dla poszczególnych punktów pomiarowych kalibrowanego przetwornika mocy umieszcza się w dodatkowej kolumnie świadectwa kalibracji.

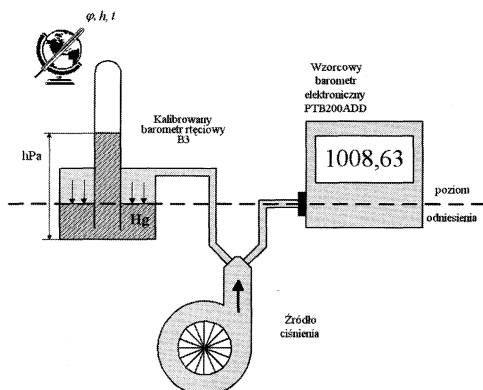
## 3. Niepewność wyznaczenia poprawek instrumentalnych barometru rtęciowego

### 3.1. Metoda pomiarowa, układ pomiarowy i model matematyczny pomiaru

Kalibracja barometrów rtęciowych realizowana jest na stanowisku pomiarowym jak na rys. 2, jeżeli jest to możliwe w miejscu użytkowania barometru rtęciowego. Na potrzeby artykułu założono, że kalibracja ma miejsce w Centralnym Ośrodku Metrologii Wojskowej na szerokości geograficznej  $52^{\circ}15'23''$  N, 130 m nad poziomem morza.

Pomiar na tym stanowisku obejmuje kalibrację barometru rtęciowego w stosunku do wzorcowego barometru elektronicznego metodą bezpośredniego porównania wskazań.

Celem kalibracji barometru rtęciowego jest wyznaczenie z określoną niepewnością jego poprawek instrumentalnych w oparciu o wzorcowy barometr elektroniczny.



Rys. 2. Schemat ideowy stanowiska pomiarowego do kalibracji barometrów rtęciowych B3

Fig. 2. Schematic diagram of measuring installation for calibration of hydrostatic barometers B3

Poprawka kalibrowanego barometru rtęciowego  $p_{kal}$ , sprowadzona do warunków odniesienia, wyznaczana jest na podstawie wzoru:

$$P_{kal} = P_{wz\ odcz} + p_{wz} - P_{kal\ odcz} - p_t - p_h - p_\phi \quad (4)$$

gdzie:  $P_{wz\ odcz}$  - wartość ciśnienia odczytana na wzorcowym barometrze elektronicznym,  $p_{wz}$  - wartość poprawki wzorcowego barometru elektronicznego,  $P_{kal\ odcz}$  - wartość ciśnienia odczytana na wzorcowym barometrze elektronicznym,  $p_t$  - wartość poprawki temperatury,  $p_h$  - wartość poprawki na wysokość nad poziomem morza,  $p_\phi$  - wartość poprawki na szerokość geograficzną.

Po uwzględnieniu dodatkowo wzorów na poprawki  $p_t$ ,  $p_h$ ,  $p_\phi$  i dołączeniu czynników addytywnych, oznaczonych indeksem  $\Delta$ , wyrażających niepewności składowe charakteryzujące niedokładność wyznaczenia poprawki instrumentalnej barometru rtęciowego, model matematyczny procesu pomiarowego (równanie pomiaru) przyjmuje postać:

$$P_{kal} = (P_{wz\ odcz} + \Delta P_{wz\ rozd} + \Delta P_{wz\ niel} + \Delta P_{wz\ hist} + \Delta P_{wz\ pow} + \Delta P_{wz\ stab}) + p_{wz} - (P_{kal\ odcz} + \Delta P_{kal\ rozd}) + (P_{kal\ odcz} + \Delta P_{kal\ rozd}) \cdot \left( 163 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \cdot t + 2 \cdot 10^7 \cdot \frac{1}{\text{m}} \cdot h + 0,0026 \cos 2\phi \right) \quad (5)$$

Wzór (5) stanowi podstawę do analizy niepewności wyznaczenia poprawki instrumentalnej kalibrowanego barometru rtęciowego  $p_{kal}$ .

### 3.2. Źródła niepewności

- Niepewność standardowa związana z rozdzielczością wzorcowego barometru elektronicznego  $\Delta P_{wz\ rozd}$ , obliczona na podstawie błędów rozdzielczości  $\pm 0,005$  hPa,
- Niepewność standardowa związana z nieliniowością charakterystyki przejściowej wzorcowego barometru elektronicznego  $\Delta P_{wz\ niel}$ , obliczona na podstawie danych technicznych  $2\sigma=0,05$  hPa,
- Niepewność standardowa związana z histerezą wskazań wzorcowego barometru elektronicznego  $\Delta P_{wz\ hist}$ , obliczona na podstawie danych technicznych  $2\sigma=0,03$  hPa,
- Niepewność standardowa związana z powtarzalnością wskazań wzorcowego barometru elektronicznego  $\Delta P_{wz\ pow}$ , obliczona na podstawie danych technicznych  $2\sigma=0,03$  hPa,
- Niepewność standardowa związana ze stabilnością długoterminową wskazań wzorcowego barometru elektronicznego  $\Delta P_{wz\ stab}$ , obliczona na podstawie danych technicznych  $\pm 0,1$  hPa/rok,
- Niepewność standardowa kalibracji wzorcowego barometru elektronicznego  $u(p_{wz})$ , obliczona na podstawie danych technicznych barometru wzorcowego IMGW,
- Niepewność standardowa charakteryzująca rozrzut wskazań kalibrowanego barometru rtęciowego w serii pomiarów  $u(P_{kal\ odcz})$ , wyznaczona na podstawie serii pomiarowych przy dochodzeniu do punktu pomiarowego od „dołu” (ciśnienie rosnące) i od „góry” (ciśnienie malejące). Parametr ten uwzględnia przypadkowy charakter nieznanego wpływu niedoskonałej próżni ponad słupem rtęci (obecności gazów w rurze barometrycznej), zjawiska depresji kapilarnej, zanieczyszczenia i utlenienia rtęci, histerezy wskazań oraz innych nieznanymi wpływów. Wyniki serii pomiarów zestawiono w tabeli 3 poniżej.

Tabela 3. Niepewność standardowa rozrzutu wskazań kalibrowanego barometru rtęciowego

Table 3. The standard uncertainty of dispersion of calibrated hydrostatic barometer indications

	Numer pomiaru	Wynik pomiaru	Średnia arytm.	Odch. standard.
		$(P_{kal\ odcz})$	$P_{kal\ odcz}$	$s(P_{kal\ odcz})$
[hPa]				
Ciśn. rosnące ↑	1	1011,7	1011,8	0,089
	2	1011,8		
	3	1011,7		
Ciśn. malejące ↓	4	1011,8		
	5	1011,9		
	6	1011,9		

- Niepewność standardowa odczytu ciśnienia na kalibrowanym barometrze rtęciowym, związana z jego rozdzielczością  $u(P_{kal\ rozd})$ , obliczona na podstawie błędów granicznego rozdzielczości  $\Delta P_{kal\ rozd} = \pm 0,1$  hPa,
- Niepewność standardowa odczytu temperatury  $u(t)$ , obliczona na podstawie błędów granicznego pomiaru temperatury  $\Delta t = \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ,

- Niepewność standardowa określenia wysokości n.p.m.  $u(h)$ , wyznaczona na podstawie różnicy wysokości między warstwicami na mapie o skali 1:50 000  $\pm 25$  m,
- Niepewność standardowa określenia szerokości geograficznej  $u(\varphi)$ , wyznaczona na podstawie błędu odczytu z mapy o skali 1:50 000  $\Delta\varphi = \pm 0.0002^\circ$ ,
- Niepewność wynikająca z występowania zjawiska stratyfikacji termicznej w otoczeniu barometru rtęciowego jest pomijalnie mała,
- Niepewność wynikająca z odchylenia barometru rtęciowego od położenia pionowego jest pomijalnie mała,
- Niepewność związana z różnicą poziomów odniesienia kalibrowanego barometru rtęciowego i wzorcowego barometru elektronicznego jest pomijalnie mała,
- Niepewność pomiaru wynikająca z dynamicznych fluktuacji ciśnienia jest pomijalnie mała.

### 3.3. Złożona niepewność standardowa i budżet niepewności

Współczynniki wrażliwości  $c_i$  obliczono licząc pochodne cząstkowe wartości wyjściowej modelu matematycznego pomiaru  $p_{kal}$  po wielkościach wejściowych  $x_i$ .

Przyjęto założenie, że żadne z wielkości wejściowych nie są skorelowane w istotnym stopniu. Tabela 4 stanowi budżet niepewności do obliczenia złożonej niepewności standardowej wyznaczenia poprawki  $p_{kal}$  w wybranym punkcie pomiarowym.

Tabela 4. Budżet niepewności

Table 4. Uncertainty budget

Wielkość $X_i$	Estymata $x_x$	Niepewn. standard. $u(x_x)$	Rozkład prawd.	Współcz. wrażliw. $c_i$	Składowa niepewn. $u_i(y)$
$\Delta P_{wz}$ rozdz	0	0,003	prost.	1	0,003
$\Delta P_{wz}$ niel	0	0,025	norm.	1	0,025
$\Delta P_{wz}$ hist	0	0,015	norm.	1	0,015
$\Delta P_{wz}$ powt	0	0,015	norm.	1	0,015
$\Delta P_{wz}$ stab	0	0,058	prost.	1	0,058
$p_{wz}$	0,05	0,086	prost.	1	0,086
$P_{kal}$ odcz	1011,8	0,037	prost.	-0,997	-0,036
$\Delta P_{kal}$ odcz	0	0,058	prost.	-0,997	-0,058
$t$	20,5	0,289	prost.	0,165	-0,048
$h$	100	14,43	prost.	0,0002	0,003
$\varphi$	52,2411	0,0001	prost.	-5,094	0,000

Złożona niepewność standardowa wynosi  $u_c(p_{kal}) = 0,137$  hPa.

W budżecie niepewności dominuje pięć składników o zbliżonych do siebie wartościach z rozkładami prostokątnymi oraz kolejne trzy z rozkładami normalnymi prawdopodobieństwa. Na podstawie centralnego twierdzenia granicznego rozkład niepewności wielkości wyjściowej  $p_{kal}$  aproksymowano rozkładem normalnym.

Niepewność rozszerzoną obliczono dla poziomu ufności 95% przy założeniu współczynnika rozszerzenia  $k=2$  w sposób następujący:

$$U = k \cdot u_c(p_{kal}) = 2 \cdot 0,137 = 0,3 \text{ hPa} \quad (6)$$

### 3.4. Zapis wyniku pomiaru

Wartość poprawki instrumentalnej kalibrowanego barometru rtęciowego zapisany w świadectwie kalibracji dla jednego punktu pomiarowego powinien zawierać następujące informacje:

Poprawka instrumentalna barometru rtęciowego typ B3 nr AB123456, wyznaczona dla ciśnienia 1011,8 hPa wynosi  $(1,0 \pm 0,3)$  hPa. Niepewność rozszerzoną podano przy poziomie ufności 95%. Wartość niepewności określono zgodnie z publikacją „Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik”, GUM 1999.

Kalibracja barometrów rtęciowych dotyczy całego zakresu ciśnienia atmosferycznego. W praktyce wartości niepewności poprawek instrumentalnych dla poszczególnych punktów pomiarowych kalibrowanego barometru rtęciowego umieszcza się w dodatkowej kolumnie świadectwa kalibracji.

### 4. Podsumowanie

Przedstawione przykłady prezentują rozwiązania przyjęte podczas szacowania niepewności wyników kalibracji na stanowiskach pomiarowych w Centralnym Ośrodku Metrologii Wojskowej.

Towarzyszący wynikowi kalibracji czynnik niepewności pomiaru został wyznaczony w oparciu o dostępną wiedzę na temat składników i charakterystyk składników istotnych dla wartości złożonej niepewności standardowej.

Przedstawione przykłady szacowania niepewności są zgodne z obowiązującą literaturą i przepisami metrologicznymi. W trakcie opracowania powyższych procedur odwołano się do doświadczeń i zaleceń polskich oraz czołowych zagranicznych urzędów miar [4, 5], a także organizacji nadzorujących laboratoria akredytowane [7].

W prezentowanych procedurach szacowania niepewności pomiaru uwzględniono faktyczne i potencjalne (o pomijalnie małym wpływie) źródła niepewności.

Decyzję o pominięciu ich wpływu podjęto w sposób świadomy, w oparciu o gruntowną analizę problemu, wiedzę i doświadczenie zawodowe (dobrą praktykę laboratoryjną).

Określona swoboda i przyjęcie pewnych założeń upraszczających w przedstawionych procedurach szacowania niepewności wpływają z punktu 3.4.8 „Przewodnika”, który uznaje „krytyczne myślenie, uczciwość intelektualną oraz korzystanie z określonych doświadczeń zawodowych” [2].

Wydaje się, że sposób przyjętego rozwiązania problemu szacowania niepewności w Centralnym Ośrodku Metrologii Wojskowej można z zadowalającym przybliżeniem opisać parafrazując sentencję Alberta Einsteina: „Everything should be made as simple as possible but not simpler”. Zrobiono to możliwie najprościej, nie przekraczając granicy, po przekroczeniu której niepewność pomiaru traci swoją wiarygodność.

### Literatura

- [1] Polska norma PN-EN ISO/IEC 17025:2001 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcowujących.
- [2] Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik. Główny Urząd Miar, Warszawa 1999.
- [3] EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. European co-operation for Accreditation, 1999. (tłum. Główny Urząd Miar: Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu).
- [4] B.N. Taylor, C.E. Kuyatt: Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results. NIST Technical Note 1297, 1994.
- [5] W. Kessel: Messunsicherheit, ein wichtiges element der Qualitätssicherung. PTB, Braunschweig.
- [6] K. Różdżyński: Miernictwo meteorologiczne. Tom 1. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 1995.
- [7] Introducing the concept of uncertainty of measurement in testing in association with the application of the standard ISO/IEC 17025. ILAC-G17:2002 (tłum. Polskie Centrum Akredytacji: Wprowadzenie problematyki niepewności pomiaru w badaniach w związku z wejściem do stosowania normy ISO/IEC 17025).
- [8] Międzynarodowy słownik podstawowych i ogólnych terminów metrologii. Główny Urząd Miar, Warszawa 1996.

**Title:** Evaluating and expressing the uncertainty of measurement at the Primary Standards Laboratory