

Piotr MAKOWSKI, Emil WOŹNIAK
CENTRALNY WOJSKOWY OŚRODEK METROLOGII,
ul. Radiowa 2, 00-908 Warszawa

Kalibracja oporników dekadowych realizowana w Centralnym Wojskowym Ośrodku Metrologii w ramach zapewnienia spójności pomiarowej i jednolitości pomiarów w resorcie Obrony Narodowej

Dr inż. Piotr MAKOWSKI

Studia wyższe magisterskie na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach ukończył w roku 2002. W latach 2002 – 2009 doktorant, a następnie pracownik naukowy macierzystego wydziału. Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2008. Poczynając od roku 2009 pracuje w Centralnym Wojskowym Ośrodku Metrologii w Warszawie, gdzie zajmuje się problematyką utrzymania i kalibracji wzorców wielkości elektrycznych, przeznaczonych na cele obronności.



e-mail: piotr_mak@vp.pl

Mgr inż. Emil WOŹNIAK

Studia wyższe magisterskie na Wydziale Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie ukończył w roku 1998. Po ukończeniu studiów rozpoczął pracę w Centralnym Wojskowym Ośrodku Metrologii, gdzie od 2001 roku zajmuje się utrzymaniem wojskowych wzorców odniesienia oraz kalibracją wojskowych wzorców niższego rzędu w zakresie rezystancji DC i napięcia stałego. Uczestniczy w procesie szkolenia i nadawania uprawnień metrologicznych.



e-mail: ewozniak@orange.pl

Streszczenie

W artykule, w sposób syntetyczny, zaprezentowano zagadnienia związane z procesem kalibracji oporników dekadowych, realizowanej w Centralnym Wojskowym Ośrodku Metrologii (CWOM). Szczególny nacisk położono tu na kwestię podejmowania wiarygodnych, statystycznie uzasadnionych decyzji metrologicznych w zakresie oceny metrologicznej parametrów kalibrowanych wzorców. Zaprezentowana w artykule, wdrożona w laboratorium wzorców elektrycznych rezystancji, indukcyjności i pojemności elektrycznej Zespołu Wzorców Odniesienia Wielkości Elektrycznych (ZWOWE) CWOM, pilotażowa procedura postępowania w tym zakresie, narzuca obowiązek uwzględnienia wpływu wielkości zakłócających wyniki pomiarów na proces podejmowania decyzji metrologicznych.

Słowa kluczowe: spójność pomiarowa, kalibracja, niepewność, TUR, opornik dekadowy.

Calibration of decade resistors in Primary Standards Laboratory (CWOM) as part of metrological assurance in Ministry of Defense Department

Abstract

Issues concerning the calibration process of decade resistors, performed in the Primary Standards Laboratory (CWOM) were presented in a synthetic way in the article. After the introduction part, general information on traceability chain, measuring system and standards, environmental conditions, calibration procedure and uncertainty evaluation was given in the paper. Particular emphasis on problems related to taking reliable, statistically justified calibration decisions was placed. The presented procedure, implemented in the LCR electrical standards laboratory in ZWOWE CWOM, in cases when Test Uncertainty Ratio (TUR) is less than 4:1 in consequence of disturbance uncertainty influence, is one of the most strict among possible solutions of the problem. It assumes no a priori knowledge on probability density function of the error distribution of the calibrated standard. Further detailed analysis is recommended, focused on determination of precise guardband, based on acceptable false accept risk probability.

Keywords: traceability, calibration, uncertainty, TUR, decade resistor.

1. Wprowadzenie

Centralny Wojskowy Ośrodek Metrologii (CWOM) w Warszawie jest centralnym laboratorium pomiarowym resortu Obrony Narodowej (ON), uczestniczącym w procesie zapewnienia spójności pomiarowej i jednolitości zdecydowanej większości pomiarów wykonywanych w jednostkach organizacyjnych resortu ON,

istotnych z punktu widzenia zapewnienia efektywnej i niezawodnej eksploatacji systemów Uzbrojenia i Sprzętu Wojskowego. Kluczowa rola CWOM w tym zakresie obejmuje utrzymanie wojskowych wzorców odniesienia jednostek miar wielkości elektrycznych i nieelektrycznych, powiązanych z międzynarodowymi i państwowymi wzorcami jednostek miar oraz przekazywanie jednostek miar do wzorców niższego rzędu, realizowane w formie okresowej kontroli metrologicznej wzorców.

Kalibracja, obok sprawdzenia, jest podstawową formą kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych, realizowaną w ramach działalności metrologicznej w resorcie ON [1].

Kalibracja przyrządów pomiarowych przeznaczonych na cele obronności jest to zespół czynności wykonywanych przez upoważnione wojskowe laboratoria metrologiczne w celu ustalenia relacji między wartościami wielkości mierzonej, wskazanymi przez przyrząd pomiarowy, a odpowiednimi wartościami wielkości realizowanymi przez wzorce jednostki miary oraz stwierdzenia na tej podstawie i poświadczenia przydatności przyrządu pomiarowego do stosowania zgodnie z przeznaczeniem [1].

Oporniki dekadowe, obok oporników wzorcowych, kalibratorów rezystancji i wielofunkcyjnych, stanowią najszerzej stosowane w laboratoriach pomiarowych resortu ON wzorce, przeznaczone do odtwarzania jednostki miary rezystancji w szerokim jej zakresie.

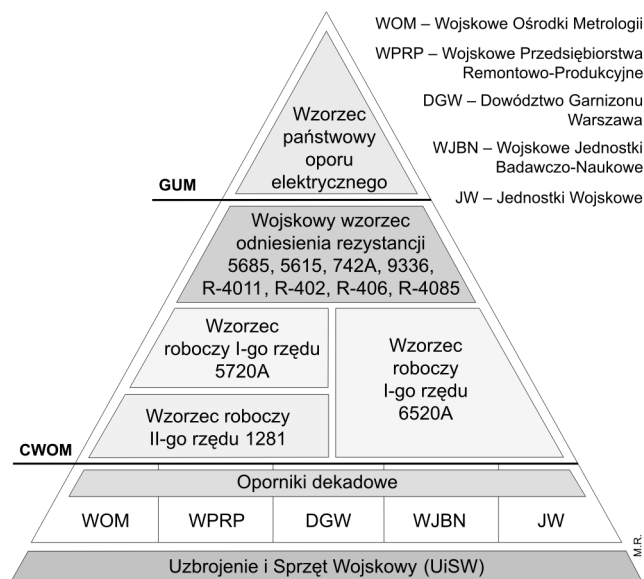
W CWOM wykonywane są stałoprądowe (DC) kalibracje oporników dekadowych wszystkich klas dokładności i konstrukcji (dwu- i wielo-zaciskowych) w zakresie wartości rezystancji od 1 mΩ do 1 TΩ.

Zasadniczym celem kalibracji opornika dekadowego jest podjęcie uzasadnionej statystycznie decyzji o przydatności opornika do zastosowania zgodnie z przeznaczeniem oraz udokumentowanie wyników pomiarów z niepewnością.

Krytycznym etapem kalibracji jest podjęcie decyzji metrologicznej w środowisku występowania określonych wielkości zakłócających i związanej z tym niepewności pomiaru, stąd szczególnie nacisk położono tu na ocenę metrologiczną w zależności od wyznaczonego TUR (ang. Test Uncertainty Ratio) kalibracji, tj. relacji jaka zachodzi pomiędzy wartością błędu dopuszczalnego rezystancji opornika dekadowego i oszacowaną niepewnością rozszerzoną pomiaru błędu rezystancji na poziomie ufności 95,45% [1]. Zgodnie z dokumentem [1], w działalności metrologicznej w resorcie ON, dopuszcza się TUR kalibracji nie gorszy niż (4:1).

2. Spójność pomiarowa, stanowisko pomiarowe

Na rysunku 1 przedstawiono schemat ścieżki spójności pomiarowej obowiązującej w zakresie kalibracji oporników dekadowych w CWOM.



Rys. 1. Ścieżka spójności pomiarowej w zakresie kalibracji oporników dekadowych w CWOM

Fig. 1. Traceability chain for calibration of decade resistors in CWOM

Wojskowy wzorzec odniesienia jednostki miary rezystancji stanowi grupowy wzorzec rezystancji, utrzymywany w Zespole Wzorców Odniesienia Wielkości Elektrycznych (ZWOWE) CWOM. W skład tego wzorca wchodzi oporniki wzorcowe, których wartość nominalna rezystancji mieści się w zakresie od 1 mΩ do 1 TΩ. Wzorzec utrzymywany jest w kontrolowanych i monitorowanych warunkach klimatycznych pomieszczenia laboratoryjnego. Podobnie jak inne wzorce odniesienia i robocze utrzymywane w laboratorium, oporniki wzorcowe odniesienia znajdują się pod ciągłą kontrolą statystyczną.

Dowiązanie metrologiczne wojskowego wzorca odniesienia rezystancji do wzorca państwowego realizowane jest w oparciu o okresowe wzorcowanie oporników wzorcowych w Głównym Urzędzie Miar (GUM) w Warszawie.

Przyrządami pomiarowymi kontrolnymi, stosowanymi w laboratorium pomiarowym ZWOWE CWOM do kalibracji oporników dekadowych są multimetr cyfrowy 1281 (w zakresie pomiaru rezystancji od 1 mΩ do 10 MΩ) oraz teraomierz cyfrowy 6520A (w zakresie pomiaru rezystancji od 10 MΩ do 1 TΩ). Multimetr cyfrowy i teraomierz cyfrowy poddawane są okresowej kalibracji w laboratoriach pomiarowych ZWOWE CWOM przy wykorzystaniu wojskowych wzorców odniesienia i roboczych, jak pokazano to na rysunku 1. Pomiaru wykonywane są w wymaganych warunkach odniesienia.

3. Warunki środowiskowe

Podczas kalibracji oporników dekadowych wymagane jest zachowanie odpowiednich warunków środowiskowych w pomieszczeniu laboratoryjnym, tj.: temperatury i wilgotności względnej powietrza, ciśnienia atmosferycznego, dopuszczalnego poziomu zapylenia powietrza, dopuszczalnego poziomu zakłóceń elektromagnetycznych, parametrów sieci elektroenergetycznej [2].

Wydajny system klimatyzacyjny, pracujący w sposób ciągły, poddawany planowanej i okresowej konserwacji, umożliwia utrzymanie wymaganej temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz nadciśnienia w pomieszczeniu laboratoryjnym.

Temperatura, wilgotność względna powietrza i ciśnienie atmosferyczne są monitorowane i rejestrowane przy wykorzystaniu systemu informatycznego współpracującego z koncentratorem. Historia zmian temperatury i wilgotności powietrza analizowana jest w trakcie wykonywania pomiarów, a także za okres kilkunastu godzin przed ich rozpoczęciem. Niezachowanie wymagań związanych z warunkami środowiskowymi skutkuje decyzją o wstrzymaniu lub unieważnieniu już wykonanych pomiarów. Parametry napięcia zasilania są okresowo kontrolowane przy wykorzystaniu odpowiednich przyrządów pomiarowych kalibrowanych w CWOM.

4. Procedura kalibracji

Kalibracja oporników dekadowych wykonywana jest w oparciu o wewnętrzną instrukcję pomiarową (WIP) [2]. Instrukcja WIP w sposób szczegółowy definiuje wymagania dotyczące przyrządów pomiarowych kontrolnych w zakresie ich doboru i ustawień optymalnych dla dokładności pomiaru, warunki odniesienia wymagane podczas kalibracji, przebieg czynności podczas pomiarów parametrów, sposób wyznaczania i oceny błędów, sposób dokumentowania wyników pomiarów i analiz, wytyczne dotyczące poświadczania wyników kalibracji i nadania terminu kolejnej kalibracji.

Procedura kalibracji przewiduje etap aklimatyzacji opornika dekadowego w warunkach środowiskowych pomieszczenia laboratoryjnego, przygotowania opornika dekadowego do kalibracji i dwa kolejne etapy wstępne: oględziny zewnętrzne oraz sprawdzenie wstępne, wykonywane przed właściwymi pomiarami.

Procedura kalibracji przewiduje, że niespełnienie dowolnego z wymagań na dowolnym etapie kalibracji skutkuje podjęciem decyzji o odrzuceniu opornika dekadowego i odstąpieniem od dalszych czynności.

Czynności pomiarowe realizowane są w trzech etapach. Podczas pobierania wyników pomiarowych zastosowanie ma metoda pomiaru bezpośredniego.

Etap pierwszy kalibracji obejmuje zakres czynności, których celem jest wyznaczenie wartości średniej rezystancji zerowej R_0 opornika dekadowego oraz miary jej odtwarzalności (rozstępu i odchylenia standardowego rezystancji) po wielokrotnych zmianach nastaw dekad opornika dekadowego. Rezystancja zerowa R_0 stanowi rezystancję na zaciskach wyjściowych opornika dekadowego przy zerowych nastawach wszystkich dekad opornika. Stosowana procedura pomiarowa przewiduje wykonanie dwóch, powtarzanych kilkakrotnie serii pomiarowych, dla dwóch kierunków prądu przepływającego przez mierzoną rezystancję. Jako wynik pomiaru rezystancji zerowej R_0 przyjmuje się średnią arytmetyczną wszystkich wykonanych pomiarów tej rezystancji.

W trakcie drugiego etapu kalibracji wyznaczane są wartości poprawne R_{popr} rezystancji opornika dekadowego. Stosowana procedura pomiarowa przewiduje pomiar rezystancji wszystkich stopni danej dekady opornika przy zerowych nastawach pozostałych dekad. Wykonuje się dwie serie pomiarowe, dla dwóch kierunków prądu przepływającego przez mierzoną rezystancję. Jako wynik pomiaru rezystancji R_{popr} przyjmuje się średnią arytmetyczną wyników wszystkich wykonanych pomiarów tej rezystancji.

Wyznaczone wartości poprawne rezystancji, skorygowane o wyznaczoną wartość średnią rezystancji zerowej, dają podstawę do określenia wartości błędu bezwzględnego ΔR_j , wyznaczanego według wzoru:

$$\begin{aligned} \Delta R_j &= R_{n_j} - (\bar{R}_{\text{popr}_j} - \bar{R}_0) = \\ &= R_{n_j} - \left(\frac{\bar{R}_{\text{popr}_+j} + \bar{R}_{\text{popr}_-j}}{2} - \frac{\bar{R}_{0+} + \bar{R}_{0-}}{2} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie: j – kolejny numer rezystancji odtwarzanej przez opornik dekadowy ($j = 1, \dots, J$), J – liczba wszystkich nastaw opornika, podlegających ocenie, R_{n_j} – kolejna wartość nominalna rezystancji opornika, \bar{R}_{popr_j} – kolejna wyznaczona wartość poprawna rezystancji (w oparciu o wyniki otrzymane przy dwóch kierunkach przepływu prądu \bar{R}_{popr_+j} i \bar{R}_{popr_-j}), \bar{R}_0 – wyznaczona średnia wartość rezystancji zerowej (w oparciu o wyniki otrzymane przy dwóch kierunkach przepływu prądu \bar{R}_{0+} i \bar{R}_{0-}).

Zbiór wartości błędów ΔR_j , wyznaczonych dla wszystkich J rezystancji odtwarzanych przez kalibrowany opornik dekadowy, wartość średnia rezystancji zerowej i jej odtwarzalność, stanowią podstawę oceny właściwości metrologicznych opornika.

Ostatni etap kalibracji składa się z dwóch części. Po pierwsze, zestawia się wyniki wszystkich wykonanych pomiarów, wyznaczone wartości błędów oraz oszacowane niepewności rozszerzone błędów. Następnie w oparciu o tak zgromadzone informacje dokonuje się oceny właściwości metrologicznych opornika i wydaje orzeczenie o zgodności (lub niezgodności) jego parametrów z wymaganiami technicznymi, przyjętymi w oparciu o specyfikacje techniczne producenta lub ustalonymi w porozumieniu z użytkownikiem.

5. Niepewność kalibracji

W zakresie szacowania niepewności pomiaru obowiązuje ogólna instrukcja szacowania niepewności [3], obejmująca ogólne zalecenia dotyczące szacowania i przedstawiania wyników pomiarów z niepewnością oraz instrukcja szczegółowa [4], dotycząca szacowania niepewności pomiaru na stanowisku kalibracji oporników dekadowych, obejmująca charakterystykę istotnych i potencjalnych źródeł niepewności na stanowisku, sposób ich analizy i oceny oraz czynności obliczeniowe prowadzące do wyznaczenia niepewności standardowych, współczynników wrażliwości, złożonej niepewności standardowej i niepewności rozszerzonej na poziomie ufności 95,45%. Instrukcje szacowania niepewności opracowano w CWOM w oparciu o obowiązujące międzynarodowe i krajowe zalecenia dotyczące szacowania niepewności pomiaru [5, 6].

Zgodnie z wytycznymi instrukcji [4], podstawą do analizy niepewności jest odpowiedni model matematyczny pomiaru (równania pomiaru):

$$\begin{aligned} \Delta R_j &= R_{n_j} + \\ &- \left(\begin{aligned} &\bar{R}_{\text{popr}_j} + p(\bar{R}_{\text{popr}})_{s_j} + p(\bar{R}_{\text{popr}})_{K_j} + p(\bar{R}_{\text{popr}})_{R_j} + \\ &+ p(\bar{R}_{\text{popr}})_{Z_j} + p(\bar{R}_{\text{popr}})_{\text{STE}_j} + p(\bar{R}_{\text{popr}})_{T_j} + \\ &+ p(\bar{R}_{\text{popr}})_{U_j} - \bar{R}_0 - p(\bar{R}_0)_s - p(\bar{R}_0)_K - p(\bar{R}_0)_R + \\ &- p(\bar{R}_0)_Z - p(\bar{R}_0)_{\text{STE}} \end{aligned} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie: $p(\bar{R}_{\text{popr}})_{s_j}$, $p(\bar{R}_0)_s$ – poprawki obarczone połączonymi estymatami odchył standardowych, wyznaczonych na podstawie rozrzutów wyników w seriach pomiarowych przy wyznaczaniu wartości rezystancji \bar{R}_{popr_j} i \bar{R}_0 (oszacowania typu A), $p(\bar{R}_{\text{popr}})_{K_j}$, $p(\bar{R}_0)_K$ – poprawki obarczone niepewnościami

pomiaru przyrządu pomiarowego kontrolnego (oszacowanie typu B, uwzględniające błędy instrumentalne przyrządu), $p(\bar{R}_{\text{popr}})_{R_j}$, $p(\bar{R}_0)_R$ – poprawki obarczone niepewnościami od rozdzielczości przyrządu pomiarowego kontrolnego (oszacowanie typu B), $p(\bar{R}_{\text{popr}})_{Z_j}$, $p(\bar{R}_0)_Z$ – poprawki obarczone niepewnościami od wpływu zjawiska „pełzania zera” przyrządu pomiarowego kontrolnego (oszacowanie typu B), $p(\bar{R}_{\text{popr}})_{\text{STE}_j}$, $p(\bar{R}_0)_{\text{STE}}$ – poprawki obarczone niepewnościami od wpływu szczątkowych sił termoelektrycznych w obwodzie pomiarowym (oszacowanie typu B), $p(\bar{R}_{\text{popr}})_{T_j}$ – poprawka obarczona niepewnością od wpływu temperatury na rezystancję opornika podczas kalibracji (oszacowanie typu B), $p(\bar{R}_{\text{popr}})_{U_j}$ – poprawka obarczona niepewnością od wpływu napięcia pomiarowego na rezystancję opornika podczas kalibracji (oszacowanie typu B). Wszystkie poprawki występujące w równaniu pomiaru (2) są addytywne i posiadają estymaty równe zero.

6. Ocena metrologiczna oporników dekadowych

Dalsze rozważania będą prowadzone przy założeniu, że błędy dopuszczalne rezystancji opornika ΔR_{dop} są symetryczne względem wartości nominalnej rezystancji, a niepewność rozszerzona wyznaczenia błędu jest symetryczna względem wyznaczonej wartości poprawnej rezystancji opornika.

Ocena metrologiczna przy $\text{TUR} \geq (4:1)$

W dalszym ciągu założymy, że spełniona jest wymagana relacja TUR kalibracji, tj. $\text{TUR} \geq (4:1)$. Procedura kalibracji zakłada w takim przypadku, że przy ocenie metrologicznej opornika nie uwzględnia się niepewności wyznaczenia błędu kalibracji [1]. W związku z powyższym wynik wykonanej kalibracji uznaje się w takim przypadku za pozytywny, gdy dla wszystkich J punktów kalibracji spełniona jest relacja:

$$\Delta R_j \leq \Delta R_{\text{dop}_j}, \quad (3)$$

gdzie: ΔR_{dop_j} – dopuszczalny błąd bezwzględny rezystancji.

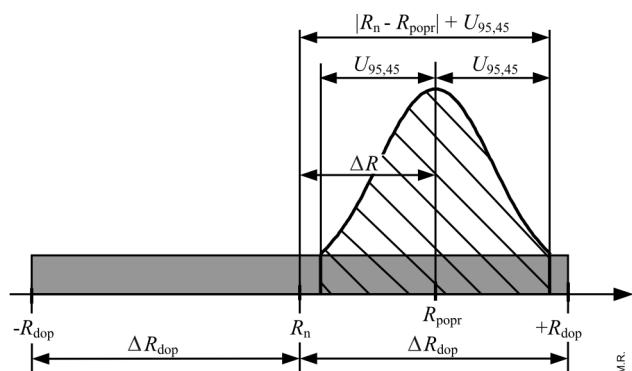
Ocena metrologiczna przy $\text{TUR} < (4:1)$

W praktyce laboratoryjnej występują również przypadki, gdy wymagany $\text{TUR} \geq (4:1)$ nie jest zachowany.

W dalszej części pracy zaprezentowano pewną koncepcję sposobu postępowania w tego rodzaju przypadkach, wdrożoną w laboratorium wzorców wielkości elektrycznych ZWOWE CWOM [7]. Proponowane rozwiązanie zakłada uwzględnienie niepewności wyznaczenia błędów opornika przy jego ocenie metrologicznej. Przyjmuje się ponadto, że wyznaczone w drodze pomiarów wartości bezwzględne błędów systematycznych rezystancji opornika $|R_n - R_{\text{popr}}|$ i ich niepewności rozszerzone $U_{95,45}$, na poziomie ufności 95,45%, kumulują się, co prowadzi do zaostżenia kryterium oceny metrologicznej. W związku z powyższym w tego rodzaju przypadkach, wynik wykonanej kalibracji uznaje się za pozytywny, gdy dla wszystkich J punktów kalibracji spełniona jest relacja:

$$\left| R_{n_j} - R_{\text{popr}_j} \right| + U_{95,45_j} \leq \Delta R_{\text{dop}_j}. \quad (4)$$

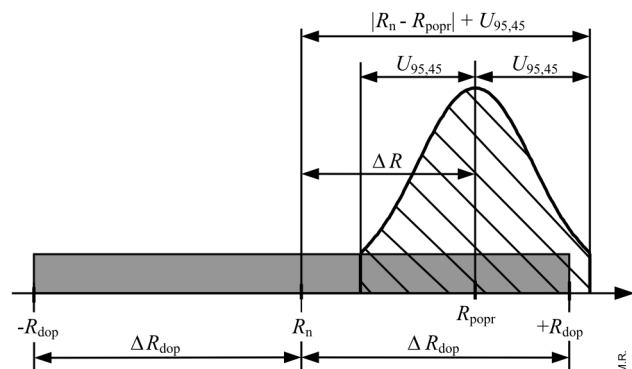
Przykład jednej z możliwych sytuacji pomiarowych, gdy $TUR < (4:1)$, pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Przypadek gdy $TUR < 4:1$ i spełniona jest relacja (4)
Fig. 2. Case when $TUR < 4:1$ and relation (4) is satisfied

W przykładzie z rysunku 2 przedział ufności $2 \cdot U_{95,45}$ zawiera się całkowicie w granicach błędu dopuszczalnego $R_n \pm \Delta R_{dop}$, wynikającego z jego klasy dokładności. Oznacza to, że spełniona jest nierówność (4), co skutkuje podjęciem pozytywnej decyzji w zakresie oceny metrologicznej wartości rezystancji w tym punkcie kalibracji opornika [7, 8].

Inną sytuację pomiarową, jaka może zaistnieć podczas kalibracji, gdy $TUR < (4:1)$, zaprezentowano na rysunku 3.



Rys. 3. Przypadek gdy $TUR < 4:1$ i niespełniona jest relacja (4)
Fig. 3. Case when $TUR < 4:1$ and relation (4) is not satisfied

Mimo, iż występuje tu taka sama relacja TUR kalibracji, jak w przykładzie z rysunku 2, nierówność (4) nie jest spełniona, a co za tym idzie nie można stwierdzić ani zgodności, ani niezgodności wyniku kalibracji z odpowiednimi wymaganiami [8], na pożądanym poziomie wiarygodności [7].

W tego typu sytuacjach, w pierwszej kolejności, procedura przyjęta w laboratorium przewiduje wykonanie pomiarów z zastosowaniem dokładniejszej metody pomiarowej. Jeżeli działanie to (zwiększenie relacji TUR) nie umożliwia w dalszym ciągu podjęcia decyzji o zgodności, bądź niezgodności wyniku kalibracji z odpowiednimi wymaganiami, możliwe jest, w porozumieniu z użytkownikiem, przeklasyfikowanie opornika na klasę dokładności gorszą niż wynika to z określonych poprzednio wymagań metrologicznych [7]. Przeklasyfikowanie opornika jest tożsame z nadaniem mu nowej klasy dokładności. Stosowana w tym przy-

padku procedura zakłada kumulowanie się miar niedokładności, zgodnie z zasadą najgorszego przypadku. Nowa klasa dokładności nadawana jest z uwzględnieniem wartości błędu systematycznego opornika, wyznaczonego w drodze kalibracji i niepewności wyznaczenia tego błędu. Uwzględnia się ponadto niestabilność rezystancji w czasie oraz wpływ temperatury na wartość rezystancji opornika w warunkach odniesienia [7].

7. Podsumowanie

W artykule szczególną uwagę zwrócono na problem podejmowania wiarygodnych, uzasadnionych statystycznie decyzji metrologicznych w zakresie oceny metrologicznej wzorców kalibrowanych w środowisku występowania wielkości zakłócających wyniki pomiarów. Zakłada się, że wszystkie możliwe do wyeliminowania wpływy systematyczne zostały wyeliminowane, natomiast wpływ wszystkich pozostałych, istotnych wielkości zakłócających charakteryzowany jest przez oszacowaną miarodajną niepewność pomiaru. Zaprezentowana procedura, wdrożona w laboratorium wzorców indukcyjności, pojemności elektrycznej i rezystancji ZWOWE CWOM jako procedura pilotażowa, stosowana w przypadkach, kiedy $TUR < 4:1$, zakłada uwzględnienie niepewności pomiaru w procesie podejmowania decyzji metrologicznych. Należy zwrócić uwagę, że procedura ta należy do jednej [9] z najbardziej rygorystycznych i zakłada brak wiedzy a priori, dotyczącej funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu błędu wzorca kalibrowanego.

Zaleca się dalszą analizę problemu, zorientowaną na wyznaczenie zakresu tolerancji wyznaczonych błędów wzorca w oparciu o wymagany poziom wiarygodności decyzji metrologicznych, związany z wymaganym prawdopodobieństwem podjęcia poprawnej decyzji w środowisku występowania przedziału ufności niepewności pomiaru wyznaczonego błędu, interpretowanej jako zakres ściśle statystycznej wiedzy o jego wartości rzeczywistej.

8. Literatura

- [1] Opracowanie „Zapewnienie spójności pomiarowej w działalności wojskowych laboratoriów metrologicznych”, zatwierdzone Decyzją Nr 17/WCM/2008 Dyrektora Wojskowego Centrum Metrologii z dnia 21.03.2008.
- [2] Makowski P.: Oporniki dekadowe. ZWOWE.WIP.K.0252, wewnętrzna instrukcja pomiarowa, CWOM 2009.
- [3] Szacowanie niepewności pomiarów, Procedura ogólna 19, CWOM 2009.
- [4] Woźniak E.: Szacowanie niepewności kalibracji oporników dekadowych. Instrukcja robocza, CWOM 2009.
- [5] Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik, GUM 1999.
- [6] Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu, EA-4/02, GUM 2001.
- [7] Woźniak E.: Ocena metrologiczna wzorców wielkości elektrycznych przy TUR mniejszym niż 4:1. CWOM 2008.
- [8] Wytyczne dotyczące przedstawiania zgodności ze specyfikacją. ILAC-G8:03/2009, tłumaczenie PCA 2009.
- [9] Deaver D.: Guardbanding and the World of ISO Guide 25. Is There Only One Way?, Fluke Corporation.

otrzymano / received: 17.05.2010

przyjęto do druku / accepted: 02.07.2010

artykuł recenzowany