

ISSN 2080-5632



METROLOGIA

Biuletyn Głównego Urzędu Miar

Nr 4

vol. 6

grudzień 2011



Drodzy czytelnicy,

koniec roku to czas podsumowań, dlatego w ostatnim tegorocznym biuletynie zamieszczamy materiały opracowane przez pracowników administracji miar, które były przedstawiane na konferencjach metrologicznych. Wśród nich znajdują się pełne opracowania, obszernie abstrakty lub zwięzłe streszczenia. Stanowią one przegląd dorobku administracji miar w mijającym roku.

Redakcja

W bieżącym numerze:

<i>Rola Głównego Urzędu Miar jako krajowej instytucji metrologicznej – Janina Maria Popowska ...</i>	<i>3</i>
<i>Metoda randomizacji błędu systematycznego – Paweł Fotowicz</i>	<i>11</i>
<i>Wykorzystanie liczb losowych do obliczania niepewności pomiaru – Paweł Fotowicz</i>	<i>15</i>
<i>Wykorzystanie komparatora RLC w pomiarach elementów państwowego wzorca jednostki miary pojemności elektrycznej – Adam Ziółek, Maciej Koszarny.....</i>	<i>19</i>
<i>Komparacja przetworników termicznych AC/DC metodą dwukanałową – Andrzej Kaźmierczak, Andrzej Kruszyński, Paweł Zawadzki.....</i>	<i>23</i>
<i>Porównanie wzorców odniesienia temperatury punktu rosy DPG1 i DPG2 w zakresie +10 °C do +20 °C – Rafał Jarosz.....</i>	<i>27</i>
<i>Spójność pomiarowa w dziedzinie wilgotności powietrza – Krzysztof Flakiewicz.....</i>	<i>31</i>
<i>Wytwarzanie i metody pomiarów wzorcowych pól magnetycznych – Katarzyna Falińska</i>	<i>36</i>
<i>Wymagania Unii Europejskiej w zakresie metrologii prawnej – Piotr Nowakowski, Izabela Klich ...</i>	<i>40</i>
<i>Analiza wyników oraz źródła niepewności przy wzorcowaniu wzorców spektrofotometrycznych – Agnieszka Chrząstek, Justyna Wtorkiewicz.....</i>	<i>43</i>
<i>Wzorce odniesienia jednostki objętości gazu ciekłego propan-butan – Paweł Sikorski</i>	<i>46</i>
<i>Dopuszczalne granice niepewności wyznaczania parametrów przepływu przy szeregowym sprawdzaniu wodomierzy – Wiesław Gosk</i>	<i>48</i>
<i>Szacowanie zdolności pomiarowej CMC laboratoriów wzorcujących przepływomierze cieczy i gazów – Wiesław Gosk.....</i>	<i>52</i>
<i>Zastosowanie oprogramowania LabView przy wzorcowaniu komór klimatycznych – Krzysztof Flakiewicz, Rafał Jarosz, Iwona Wiśniewska.....</i>	<i>57</i>
<i>Komputeryzacja wzorca podstawowego wilgotności – generatora temperatury punktu rosy – Rafał Jarosz, Krzysztof Flakiewicz.....</i>	<i>59</i>
<i>50 m komparator interferencyjny – Mariusz Wiśniewski</i>	<i>61</i>
<i>Wzorzec odniesienia GUM jednostki objętości przepływu i strumienia objętości gazu na przykładzie wybranych stanowisk pomiarowych – Jakub Wildner, Arkadiusz Zadworny</i>	<i>62</i>
<i>Sposoby uwzględniania wpływu charakterystyk metrologicznych mierników poziomu dźwięku na niepewność pomiaru wielkości charakteryzujących hałas – Danuta Dobrowolska</i>	<i>64</i>
<i>Stabilność długoterminowa generatorów kwantowych wykorzystywanych w pomiarach długości – Dariusz Czulek, Robert Szumski</i>	<i>66</i>
<i>Determination of phase correction for interferometrically measured gauge blocks based on 3D surface roughness analysis – Zbigniew Ramotowski, Leszek Salbut</i>	<i>67</i>

Rola Głównego Urzędu Miar jako krajowej instytucji metrologicznej

Janina Maria Popowska

1. Wstęp

Współczesna metrologia obejmuje każdą niemal dziedzinę aktywności naukowej, gospodarczej i społecznej człowieka. Wyrasta z wielowiekowej tradycji zapewnienia stabilności miar, bez których nie mógłby odbywać się ciągły rozwój cywilizacyjny. Wielką zdobyczą ludzkości jest stworzenie wspólnego i jednolitego międzynarodowego systemu miar, uznanego przez niemal wszystkie kraje świata. Zdobyć ta zaowocowała wypracowaniem stabilnej struktury metrologicznej o zasięgu światowym. Zasadniczym elementem tej struktury, od czasów Konwencji Metrycznej, jest krajowa instytucja metrologiczna.

2. Uwarunkowania historyczne

Za historyczną przyczynę powstania krajowych instytucji metrologicznych można uznać potrzebę utrzymywania w każdym państwie podstawowych wzorców jednostek miar. W związku z tym najwyższe władze państwowe zawsze przywiązywały dużą wagę dla zapewnienia ich stałości i dostępności. Od najdawniejszych czasów znajdowało to odbicie w zasadniczych aktach prawnych. Przykładem może być średniowieczny dokument, Magna Charta Libertatum z 1215 roku, w którym król angielski Jan bez Ziemi zobowiązuje się wobec swoich poddanych do zapewnienia jednakowości miar i wag na terenie całego królestwa. Innym przykładem jest konstytucja Stanów Zjednoczonych Ameryki z 1787 roku, na kartach której autorzy, tej pierwszej w dziejach ludzkości ustawy zasadniczej, zapisali uprawnienie dla Kongresu USA do ustalania wzorców miar i wag.

Rewolucja Francuska w 1799 roku doprowadziła do stworzenia pierwszych wzorców jednostek miar powstałych w oparciu o odniesienia obiektywne i powszechne dostępne, torując drogę do ich międzynarodowego uznania poprzez Konwencję Metryczną w 1875 roku. W ślad za tym nastąpił prawdziwy rozwój krajowych instytucji metrologicznych. Wkrótce po podpisaniu Konwencji Metrycznej, w roku 1887 został założony Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR) w Berlinie, jako pierwsze krajowe laboratorium zajmujące się wzorcami jednostek miar. Jako następne zostało utworzone National Physical Laboratory (NPL), w Teddington w roku 1900, zaś w roku 1901 powstało National Bureau of Standards (NBS) w Stanach Zjednoczonych. Tym samym, rola jaką odgrywają rządy państw w metrologii została mocno ugruntowana. Obecnie wszystkie kraje uprzemysłowione na całym świecie, jak również większość krajów rozwijających się posiada krajową instytucję, której zadaniem jest utrzymanie państwowych wzorców jednostek miar i przekazywanie ich wartości do innych wzorców i przyrządów pomiarowych oraz pełnienie roli ośrodka eksperckiego w dziedzinie pomiarów.

Władze w naszym kraju, przywiązując dużą wagę do spraw związanych z ujednoczeniem miar, tuż po odzyskaniu niepodległości, w 1919 roku, powołały do życia Główny Urząd Miar, który do dziś pełni rolę krajowej instytucji metrologicznej.

Wybitny autorytet w dziedzinie miar Terry Quinn, wieloletni dyrektor Międzynarodowego Biura Miar, w swoim raporcie [1] stwierdza, że zadania pierwszych krajowych laboratoriów wzorców jednostek miar (PTR, NPL i NBS) były zupełnie jasno sprecyzowane. Miały one mianowicie:

- a) wspierać krajowy przemysł wytwórczy,
- b) ustanowić krajowe wzorce jednostek miar,
- c) wykonywać wzorcowania oraz
- d) zapewnić porównywalność swych wzorców jednostek miar z państwowymi wzorcami jednostek miar innych krajów, dla celów handlu międzynarodowego.

Z powyższych stwierdzeń wynika, że główne zadania krajowych instytucji metrologicznych tradycyjnie powinny koncentrować się wokół zagadnień dotyczących krajowych wzorców pomiarowych, co oczywiście nie zdejmuje odpowiedzialności tych instytucji z wypełniania innych zadań wspierających rozwój współczesnej metrologii.

3. Krajowe wzorce pomiarowe

Wzorce pomiarowe, zwane również wzorcami jednostek miar, pełnią kluczową rolę w życiu gospodarczym państw. Bez nich nie możliwa byłaby produkcja i wymiana towarowa, umożliwiają bowiem jednoznaczne określanie relacji ilościowej pomiędzy wytwarzanymi produktami. Poza tym stale rosnąca dokładność odtwarzania jednostek miar, za pośrednictwem wzorców, ułatwia rozwój przemysłowy w wiodących obszarach gospodarczych i wspiera postęp we wszystkich dyscyplinach związanych z naukami technicznymi i przyrodniczymi. Dlatego tak ważne jest utrzymywanie wzorców pomiarowych o najwyższej dokładności pomiarowej, w każdym państwie pragnącym uczestniczyć w globalnym postępie cywilizacyjnym, opartym na zasadach zrównoważonego rozwoju.

Z naukowego punktu widzenia wzorce pomiarowe służą do realizacji definicji danej wielkości o zadeklarowanej wartości wielkości, której towarzyszy związana z nią niepewność pomiaru [2]. Często też wzorce określa się jako urządzenia przeznaczone do definiowania, realizowania, zachowania lub odtwarzania jednostki miary jednej lub wielu wartości wielkości mierzonej i służące jako odniesienie. Wśród wzorców o najwyższej dokładności wyróżnia się państwowe wzorce jednostek miar i wzorce odniesienia (krajowe wzorce odniesienia). Przez wzorzec państwowy należy rozumieć wzorzec uznany urzędowo w danym kraju za podstawę do przypisywania wartości innym wzorcom jednostki miary danej wielkości, a przez wzorzec odniesienia wzorzec miary o najwyższej zazwyczaj jakości metrologicznej dostępny w danym miejscu lub danej organizacji, który stanowi odniesienie dla wykonywanych tam pomiarów. Wzorce te służą do przekazywania jednostki miary innym wzorcom i przyrządom pomiarowym wykorzystywanym w gospodarce narodowej.

Zdolność powyższą określa się mianem spójności pomiarowej. Bez niej żaden wynik pomiaru nie może być uznany na świecie za zgodny z obowiązującym układem jednostek miar. Takim uniwersalnym, międzynarodowym systemem jest układ SI (*Systeme International*). Państwowe wzorce jednostek miar zatem są gwarantem spójności pomiarowej, bez której żaden użytkownik przyrządów pomiarowych w gospodarce narodowej nie mógłby mieć pewności, że wytwarzane lub sprzedawane przez niego produkty będą speł-

niały wymagania niezbędne w celu zapewnienia ich jakości i konkurencyjności na rynku krajowym i międzynarodowym.

Aby zapewnić spójność pomiarową wzorce należy poddawać porównaniom międzynarodowym. We współczesnej metrologii na podstawie wyników takich porównań ustala się wartości odniesienia dla większości jednostek miar układu SI, które uznaje się za najbliższe realizacje dla przyjętych definicji tych jednostek. Ustala się również stopnie równoważności państwowych wzorców jednostek miar utrzymywanych w krajach biorących udział w porównaniach, potwierdzające ich równoważność pomiarową na arenie międzynarodowej. Dzięki udziałowi wzorców w porównaniach międzynarodowych można być pewnym, że przekazywana do użytkowych przyrządów pomiarowych jednostka miary, poprzez nieprzerwany łańcuch wzorcowań, z których wszystkie wnoszą swój udział do niepewności pomiaru, jest spójna z międzynarodowym systemem miar.

4. Zadania krajowej instytucji metrologicznej

Podstawowym zadaniem każdej krajowej instytucji metrologicznej jest rozwój i utrzymanie państwowych wzorców jednostek miar oraz innych wzorców pomiarowych o najwyższej dokładności odtwarzania jednostek miar w kraju (krajowych wzorców odniesienia). Krajowe wzorce pomiarowe nie mogą istnieć bez szeregu innych wzorców pomiarowych tworzących pewien łańcuch powiązań związanych z przekazywaniem jednostki miary. Łańcuch ten, zapewniający spójność pomiarową w kraju, tworzy system wzorców w postaci struktury metrologicznej obejmującej krajową instytucję metrologiczną, jej terenowe oddziały i laboratoria pomiarowe akredytowane. To one zapewniają odpowiednią dokładność przyrządów pomiarowych użytkowanych w gospodarce narodowej.

Obok tego podstawowego zadania krajowa instytucja metrologiczna powinna podejmować działania wynikające z przyjętych rezolucji przez Generalne Konferencje Miar. Ostatnie z nich, a mianowicie 22. i 23. Konferencje, które odbyły się 2003 i 2007 roku postawiły przed krajowymi instytucjami metrologicznymi nowe wyzwania w postaci rozszerzenia swojego działania na nowe obszary metrologiczne związane z chemią, biotechnologią, medycyną, ochroną środowiska i badaniem żywności (5. rezolucja 22. Generalnej Konferencji Miar) oraz podjęcie wysiłku w celu udoskonalenia międzynarodowego układu miar SI poprzez realizację podstawowych jednostek miar w oparciu o stałe fizyczne (12. rezolucja 23. Generalnej Konferencji Miar).

Wielkość i struktura krajowej instytucji metrologicznej powinny odpowiadać krajowym potrzebom społeczeństwa, przemysłu i nauki. Jej utworzenie, funkcje i status instytucjonalny z reguły określają akty prawne najwyższej rangi.

Krajowa instytucja metrologiczna musi zagwarantować zatrudnienie wystarczającej liczby wykwalifikowanego personelu. Szczególne znaczenie ma personel posiadający wiedzę i doświadczenie w zakresie wykonywania pomiarów oraz analizy ich wyników. Praca w dziedzinie metrologii wymaga nie tylko wykształcenia na wysokim poziomie, lecz także doświadczenia w metrologii, które jest równie ważne.

Krajowa instytucja metrologiczna musi być wyposażona w odpowiednie urządzenia pomiarowe umożliwiające realizację zadań. Sprzęt pomiarowy musi funkcjonować w laboratoriach, które zapewniają odpowiednie warunki środowiskowe, szczególnie stabilność temperatury oraz eliminację zakłóceń wibracyjnych i elektromagnetycznych. Dany kraj powinien utworzyć i utrzymywać wzorce pomiarowe odpowiednio do swoich potrzeb. Gdy jest to możliwe, wzorce pomiarowe są pierwotnymi realizacjami jednostek SI, a w in-

nych przypadkach mogą być wtórnymi wzorcami spójnymi z wzorcami innego kraju lub z wzorcami Międzynarodowego Biura Miar (BIPM), aby zapewnić spójność pomiarów z międzynarodowym układem jednostek miar.

Wzorce pomiarowe to wprawdzie jeden z istotnych filarów w systemie metrologicznym, tym niemniej istotnym jest także system rozwiązań normatywnych, które tworzą ramy metrologii prawnej. Dla należytego funkcjonowania krajowej instytucji metrologicznej i prawidłowej realizacji zadań metrologicznych wymagana jest bowiem nie tylko techniczna infrastruktura pomiarowa, lecz także system wszelkich koniecznych rozwiązań prawnych i organizacyjnych, których celem jest realizowanie ustanowionych polityk krajowych odnoszących się do metrologii. Istotą metrologii prawnej są m. in. tworzenie prawnych zasad ustanawiania i rozpowszechniania krajowego systemu wzorców pomiarowych, tworzenie prawno-organizacyjnych zasad realizacji krajowej spójności pomiarowej, ustanawianie aktów normatywnych regulujących wprowadzanie do użytku i zasady użytkowania wybranych rodzajów przyrządów pomiarowych, a także nadzór nad ich użytkowaniem, tworzenie niezbędnych zasobów kadrowych i zapewnianie należytych kompetencji metrologicznych, certyfikacja i akredytacja jednostek działających w ramach systemu oceny zgodności, organizacja szkoleń i transferu wiedzy, itd. [3].

Podsumowując, krajowa instytucja metrologiczna koncentruje się głównie na zapewnieniu rozwoju i doskonaleniu w obszarze metrologii, co przynosi korzyści zarówno gospodarce, społeczeństwu jak i nauce [4].

5. Współczesne wyzwania metrologii

Współczesna metrologia zmienia swoje oblicze. Jej tradycyjna rola związana z problematyką miar rozszerzana jest o nowe wyzwania związane z zaspakajaniem potrzeb intensywnego rozwoju gospodarczego naszej cywilizacji. Znalazło to odbicie w wyodrębnieniu zagadnień tematycznych, którymi ze szczególną troską zajmować się będą krajowe instytucje metrologiczne we współpracy z przemysłem i ośrodkami naukowymi. Kierunki rozwoju metrologii, wspierającej narodowe technologie w wymianie międzynarodowej, wykorzystują rekomendacje i rezolucje kolejnych Konferencji Miar.

5.1. Metrologia dla ochrony zdrowia

Metrologia dla ochrony zdrowia ma wskazywać na rozwój technik pomiarowych, które służą dokładniejszej i pewniejszej diagnostyce medycznej. Działanie to wiąże się z opracowaniem nowych materiałów odniesienia najwyższego rzędu, w porozumieniu z laboratoriami medycznymi i Międzynarodową Federacją Chemii Klinicznej. W obszarze tym również wyzwaniem jest idea „człowieka wirtualnego”, dotyczącego modelu funkcjonalno-anatomicznego organizmu ludzkiego, stanowiącego określony standard dla przemysłu związanego z wytwarzaniem sprzętu medycznego i rehabilitacyjnego oraz służącego szkoleniu personelu związanego z opieką zdrowotną. Tu też zawarta jest diagnostyka prowadzona na podstawie graficznej informacji cyfrowej uzyskiwanej dzięki technikom przetwarzania obrazu, stosowanym coraz częściej w nowoczesnej medycynie. Działaniami objęte jest również oprzyrządowanie służące do analizy biosygnalów, zastosowania biomarkerów, rezonans magnetyczny, tomografia komputerowa, technika ultradźwiękowa i tradycyjnie promieniowanie jonizujące stosowane w celach diagnostycznych i terapeutycznych.

5.2. Metrologia w obszarze energetyki

Metrologia w obszarze energetyki ma skoncentrować się na doskonaleniu przyrządów pomiarowych w celu poprawienia jakości energii elektrycznej uzyskiwanej ze źródeł odnawialnych oraz poprawienia wydajności systemów energetycznych ciepłych i jądrowych poprzez zapewnienie dokładniejszych urządzeń sterujących temperaturą i ciśnieniem w elektrowniach. Szczególny wysiłek powinien być podjęty w dziedzinach związanych z technologią wodorową, ogniw paliwowych oraz związanych z wykorzystaniem energii wiatru, słońca czy biomasy. Działania mają być związane również ze zwiększeniem wydajności, elastyczności, bezpieczeństwa i niezawodności aktualnie wykorzystywanych sieci energetycznych oraz służących poprawieniu oszczędności poprzez wdrożenie inteligentnych sieci energetycznych.

5.3. Metrologia dla środowiska naturalnego

Metrologia dla środowiska naturalnego skoncentruje się na problematyce opracowania nowych, stabilnych wzorców pomiarowych stosowanych w procesie ciągłego monitorowania zmian klimatycznych, jak również nowatorskich czujników do globalnych pomiarów temperatury i składu chemicznego oceanów i atmosfery, z wykorzystaniem technik satelitarnych. Zajmie się również zagadnieniem pomiaru przepływu i koncentracji gatunków chronionych prawem, wydajnym i zrównoważonym użytkowaniem zasobów naturalnych, określeniem właściwości chemicznych materiałów odpadowych dla ich wtórnego przerobu, długoterminowym wiązaniem dwutlenku węgla oraz oceną i zarządzaniem hałasem w środowisku.

5.4. Metrologia związana z nowymi technologiami

Metrologia związana z nowymi technologiami dotyczy przede wszystkim nanotechnologii. W tym obszarze kluczowymi wyzwaniem jest rozwój mikroskopii optycznej z użyciem sondy skanującej do analizy powierzchniowej nanostruktur w produkcji półprzewodników, rozwój systemów nanoelektronicznych, nanomagnetycznych i nanoelektromechanicznych, pomiar profilów przestrzennego rozkładu temperatur nanoobwodów. Istotnym zagadnieniem jest tu również dziedzina nanomateriałów z uruchomieniem badań toksyczności, kształtu, rozkładu wielkości, charakterystyk chemicznych nanocząsteczek, takich jak nanorurki i produkty spalania.

Działaniami objęte są również zagadnienia związane z nowymi wyzwaniami dla metrologii związanymi z biotechnologią i nowymi materiałami. Problematyka metrologii dla nowych materiałów skoncentruje się na zagadnieniach inżynierii nowoczesnych implantów medycznych, fotoogniw, biomateriałów, wielofunkcyjnych i inteligentnych materiałów hybrydowych. Metrologia powinna wspierać prace nad ścisłym określeniem ich właściwości fizykochemicznych oraz badania związane z ich analizą strukturalną, a także związane z samym procesem ich modelowania.

5.5. Metrologia w obszarach tradycyjnych

Wyzwaniami objęte są również tradycyjne obszary naukowe metrologii stosowanej, takie jak pomiary długości, elektryczność i magnetyzm, czas i częstotliwość, mechanika, termometria czy promieniowanie.

W dziedzinie związanej z pomiarami długości zwraca się uwagę na rozwój technik pomiarowych i przyrządów do pomiaru w zakresie mikro- i nano-metrycznym, w tym mikroskopii i interferometrii opartej na promieniach X, pozwalającej na osiągnięcie rozdzielczości na poziomie pikometrycznym. Metrologia wymiarowa umożliwi rozwój technik współrzędnościowych dla zaawansowanej technologicznie produkcji w przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym. Metrologia dużych odległości przyczyni się do stworzenia dokładnych globalnych map umożliwiających precyzyjną lokalizację i nawigację opartą na satelitarnych systemach pozycjonowania.

W dziedzinie związanej z elektrycznością i magnetyzmem celem jest rozwój zdolności pomiarowych dla oceny jakości i wydajności energii elektrycznej oraz dla monitorowania i ochrony sieci i urządzeń elektrycznych. Istotne jest ustalenie wskaźnika absorpcji częstotliwości radiowych i pomiary siły pola elektromagnetycznego w częstotliwościach szeroko wykorzystywanych publicznie. Te działania metrologiczne konieczne są dla rozwiązywania problemów zdrowia i bezpieczeństwa w związku z rozpowszechniającym się używaniem mobilnych urządzeń radionadawczych. Konieczna jest również rozbudowa metod pomiarowych do zakresu częstotliwości terahercowych, wspierających dalsze postępy w technologiach informatycznych i łączności o dużej szybkości. Kolejne wyzwanie w tym obszarze to rozwój ultraczułych narzędzi pomiarowych, pozwalających na kontrolę zachowania pojedynczych jednostek kwantowych, mających zastosowanie w nanoelektronicznych i nanomagnetycznych technologiach jutra. Wiąże się to również z opracowaniem mobilnych elektrycznych wzorców kwantowych, odtwarzających stabilnie wielkości, niezależnie od miejsca stosowania, czasu i wpływu warunków środowiskowych.

W dziedzinie związanej z czasem i częstotliwością konieczny jest rozwój zegarów atomowych o wyjątkowej dokładności. Obecne wzorce pierwotne czasu i częstotliwości oparte na atomach cezu powinny być zastąpione nowymi o niepewności 10^{-17} . Umożliwi to udoskonalenie i rozwój systemów nawigacji satelitarnej takiej jak systemy GPS lub Galileo.

Mechanika, która obejmuje wielkości takie jak masa, siła, moment obrotowy, ciśnienie, akustyka, drgania, ultradźwięki i przepływ, jest kluczowym narzędziem dla przemysłu, badań i społeczeństwa z powodu szerokiego zakresu zastosowań w robotyce, mikro- i nanotechnologiach, produkcji, a nawet do wspomagania diagnostyki medycznej. W konsekwencji, konieczne są niezawodne wzorce, jak również badania w celu ich ulepszenia. Zostały określone główne ścieżki działań dotyczących: innowacyjnych systemów dla dynamicznych pomiarów w produkcji, wzorców ciśnienia wysokiej próżni, zaawansowanych metod pomiaru przepływu, rozwiązań mechanicznych dla zastosowań medycznych, biotechnologicznych i farmakologicznych oraz zagadnień w dziedzinie akustyki, ultradźwiękach i drgań. W tym ostatnim obszarze myśli się o technikach pomiarowych dla przemysłu lotniczego, naftowego, gazowego, farmaceutycznego i nuklearnego, zastosowaniach ultradźwięków i drgań o wysokiej częstotliwości w medycynie i opracowaniu rozwiązań w dziedzinie bioakustyki.

W termometrii konieczne są badania związane z określeniem nowych punktów termodynamicznych wysokich temperatur i technik przetwarzania obrazu termicznego. W związku z powstawaniem nowych materiałów potrzebne są techniki służące do określania ich właściwości termicznych, jak: pojemność i przewodność cieplna, izolacyjność termiczna, topnienie, wrzenie czy sublimacja. Ocieplenie klimatu stawia w tym obszarze wyzwania związane z inteligentnym monitoringiem wilgotności w skali globalnej. Kontrola wilgoci służy również zapewnieniu oszczędności energetycznej budynków mieszkalnych i jest konieczna przy produkcji, obróbce i składowaniu materiałów organicznych.

W dziedzinie promieniowania jonizującego podstawowym zadaniem jest konieczność opracowania nowych metod radiodiagnostyki i leczenia z wykorzystaniem protonów, neutronów i ciężkich jonów oraz tworzeniem wysokiej jakości metod dozymetrii trójwymiarowej i rozwoju nowej radiofarmaceutyki. W obszarze fotometrii i radiometrii konieczna jest nowa metrologia świetlna dotycząca nowoczesnych urządzeń, materiałów fotonowych dla poprawy jakości życia człowieka poprzez monitoring optyczny i technologie przetwarzania światła. Mamy tu: nowe źródła iluminacji, problematykę wyświetlaczy i detektorów optycznych, opracowanie wzorców kwantowo-fotonowych jako źródeł pojedynczych fotonów, stworzenie systemów jednoczesnego pomiaru widma, mocy, rozkładu przestrzennego, koherencji i polaryzacji promieniowania. Istotnym problemem jest też zagadnienie wizualnej percepcji jakości produktów pozwalających na ich ocenę na podstawie wyglądu, bez konieczności odwoływania się subiektywnej wrażliwości oka ludzkiego. Wiąże się to z opracowaniem nowych technik kolorymetrycznych.

5.6. Metrologia w chemii

Metrologia w chemii uważana jest za jeden z najszybciej rozwijających się obszarów. Największym wyzwaniem jest tu opracowanie różnych analitów dla sieci laboratoriów europejskich zajmujących się badaniami w obszarze chemii klinicznej, medycyny sądowej, jakości żywności czy zanieczyszczenia środowiska naturalnego, w postaci analizy śladowej, zastosowań biomarkerów, identyfikacji DNA czy toksyczności nanomolekuł. Istnieje w tej dziedzinie również potrzeba opracowania stosownych zharmonizowanych norm i przepisów prawnych.

5.7. Metrologia teoretyczna

Metrologia teoretyczna koncentruje się na matematycznych i informatycznych narzędziach związanych z opracowaniem wyniku pomiaru zgodnie z wypracowywanym standardem postępowania. Skupi się na modelowaniu analitycznym i numerycznym wielkości mierzonej, na obliczaniu niepewności pomiaru w oparciu o symulację Monte Carlo i statystykę bayesianowską oraz na metodyce oceny wyniku porównań kluczowych, których celem jest wypracowanie nowych zaleceń w dziedzinie opracowania danych zgodnie z wypracowaną koncepcją, wspólną dla całego obszaru metrologii. Trwają prace nad przygotowaniem oprogramowania komputerowego spełniającego wymagania standardów metrologicznych w dziedzinie opracowania danych pomiarowych.

5.8. Realizacja wyzwań metrologii

Przedstawione tu wyzwania wymagają podjęcia wysiłku przez całą społeczność metrologiczną, skupioną wokół krajowych instytucji metrologicznych. Aby ułatwić ich realizację europejskie instytucje metrologiczne uzgodniły z Komisją Europejską wspólne finansowanie działań w postaci uruchomienia wieloletniego programu naukowego pod nazwą European Metrology Research Programme (EMRP) [5]. Program ten w połowie finansowany jest ze środków Unii Europejskiej i w połowie przez europejskie krajowe instytucje metrologiczne (NMI).

W programie EMRP, obok krajowych instytucji metrologicznych, a w tym Głównego Urzędu Miar, mogą także uczestniczyć europejskie podmioty gospodarcze i naukowe, któ-

rych działalność wiąże się z przedstawionymi zagadnieniami. Realizacja działań w ramach programu odbywa się poprzez uczestnictwo w zgłaszanych przez te podmioty tematach badawczych. Tematy te podlegają ocenie przez międzynarodowych ekspertów i uczestniczą w procesie konkursowym. Pozytywny wynik konkursu oznacza przyjęcie ich do realizacji przez powoływane konsorcja.

6. Podsumowanie

Główny Urząd Miar, pełniąc rolę krajowej instytucji metrologicznej, obok tradycyjnych zadań związanych z rozwojem i utrzymywaniem krajowych wzorców pomiarowych, włącza się w nurt współczesnych wyzwań metrologii uczestnicząc w konsorcjach realizujących projekty w ramach europejskiego programu badań w dziedzinie metrologii EMRP. Obecnie bierze udział w dwóch projektach na trzy realizowane przez podmioty krajowe, co można uznać za istotny sukces, biorąc pod uwagę uwarunkowania prawne, kadrowe i infrastrukturalne w jakich przychodzi działać naszej instytucji.

Główny Urząd Miar wspiera krajowe ośrodki naukowe ubiegające się o finansowanie prac naukowych ze środków krajowych i zagranicznych. Uczestniczy aktywnie w wielu formach aktywności intelektualnej w dziedzinie metrologii takich jak kongresy, konferencje czy sympozja poświęconych problematyce pomiarowej. Włącza się w ten nurt organizując od lat własne seminaria, na których prezentowany jest dorobek administracji miar w dziedzinie metrologii. Seminaria te otwarte są dla całego środowiska metrologicznego. Wzmacnia je wydawanie biuletynu naukowo-informacyjnego, na łamach którego publikowane są najciekawsze osiągnięcia zawodowe pracowników GUM. Materiały o charakterze naukowym recenzowane są przez samodzielnych pracowników akademickich.

Główny Urząd Miar pełniąc swoją misję popularyzacji zagadnień metrologii organizuje corocznie, otwarte dla zainteresowanych, obchody Światowego Dnia Metrologii, w tym roku mające szczególnie uroczysty charakter ze względu Rok Marii Skłodowskiej-Curie. Współpracuje ściśle z krajowym środowiskiem naukowym, wspierając inicjatywy wspólnych przedsięwzięć intelektualnych. Przykładem może być wydanie nakładem GUM, w tym roku, monografii [6], będącej wspólnym dziełem pracowników administracji miar, metrologii wojskowej i uczelni technicznych.

Literatura

1. Quinn T.: *A Note on the role and operation of a national metrology institute*. April 2007.
2. *Międzynarodowy słownik metrologii. Pojęcia podstawowe i ogólne oraz terminy z nimi związane (VIM)*. Przewodnik ISO/IEC Guide 99:2007.
3. *Elements for a Law on Metrology*. OIML D 1. Edition 2004 (E).
4. *Metrology in short*. EURAMET 2008.
5. *European Metrology Research Programme*. Outline 2008.
6. *Niepewność pomiarów w teorii i praktyce*. Praca zbiorowa. Wydawnictwo GUM 2011.

Metoda randomizacji błędu systematycznego

Paweł Fotowicz

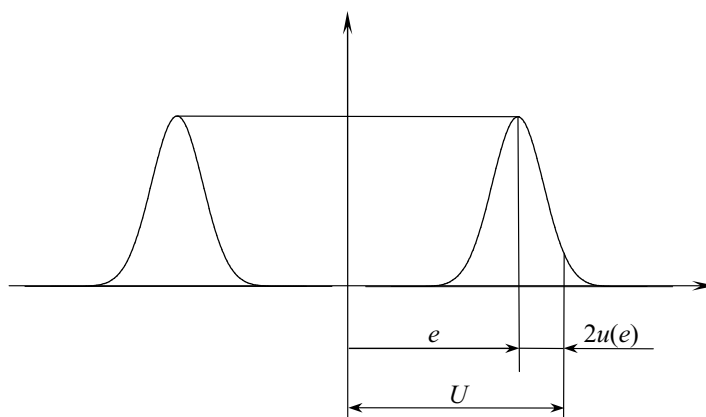
1. Wstęp

Błąd systematyczny pomiaru należy do kategorii oddziaływań, które w praktyce metrologicznej występują pod postacią poprawek lub błędów wskazań przyrządów pomiarowych. Charakteryzują się określonym znakiem i wartością oraz wyznaczane są z określoną niepewnością. W pomiarach bezpośrednich za ogół wynik pomiaru jest korygowany o wartość tych oddziaływań systematycznych, a jedynie włączana jest do niepewności wyniku składowa przypadkowa związana z wyznaczeniem poprawki lub błędu wskazania. Możliwe jest jednak również inne postępowanie, a mianowicie włączenie w całości oddziaływania systematycznego do przedziału rozszerzenia związanego z wynikiem pomiaru i przez to traktowanie go jak składowej niepewności [1].

Oddziaływanie systematyczne zawiera dwie składowe: systematyczną i przypadkową. Część systematyczna oddziaływania przybliżana jest odchyleniem pomiarowym, a część przypadkowa estymowana jest niepewnością związaną z wyznaczeniem tego odchylenia. Powstająca w ten sposób nowa zmienna losowa charakteryzuje się zerową wartością oczekiwaną i odchyleniem standardowym obliczanym na podstawie informacji o wartości odchylenia pomiarowego i związanej z nim niepewności pomiarowej. Należy dodać, że pojęcie „odchylenie pomiarowe” do terminologii krajowej wprowadza norma PKN-ISO/IEC Guide 99 i jest ono odpowiednikiem międzynarodowego terminu „measurement bias” [2].

2. Oddziaływanie systematyczne

Oddziaływanie systematyczne zawiera odchylenie pomiarowe e , jako estymatę błędu systematycznego, oraz niepewność standardową $u(e)$. Możemy założyć, że rozkład prawdopodobieństwa związany ze składową przypadkową tego oddziaływania jest opisany rozkładem normalnym i możemy w związku z tym przyjąć, iż współczynnik rozszerzenia wynosi



Rys. 1. Randomizacja oddziaływania systematycznego

$k = 2$ dla prawdopodobieństwa 95 % (rys. 1). Tworząc nową zmienną losową centrowaną wokół umownie przyjętej wartości zerowej wyznaczamy symetryczny przedział rozszerzenia:

$$U = |e| + 2 \cdot u(e) \quad (1)$$

W ten sposób U staje się niepewnością rozszerzoną związaną z oddziaływaniem systematycznym. Rozkładem tej zmiennej losowej będzie rozkład płasko-normalny.

3. Rozkład płasko-normalny

Rozkład płasko-normalny jest spłotem rozkładu prostokątnego z normalnym. Funkcja gęstości tego rozkładu opisana jest zależnością:

$$g(\eta) = \frac{1}{2\sqrt{6\pi} \cdot r} \int_{\eta-\sqrt{3}\cdot r}^{\eta+\sqrt{3}\cdot r} \exp\left[-\frac{\xi^2}{2}\right] d\xi \quad (2)$$

Funkcje gęstości tego rozkładu charakteryzują się na ogół stałą wartością w okolicach wartości oczekiwanej i zbroczami opisanymi funkcją Gaussa (rys. 2). Zakres stałości funkcji gęstości zależy od parametru r rozkładu, który określa stosunek odchylenia standardowego σ_p jego składowej prostokątnej do odchylenia standardowego σ_N jego składowej normalnej:

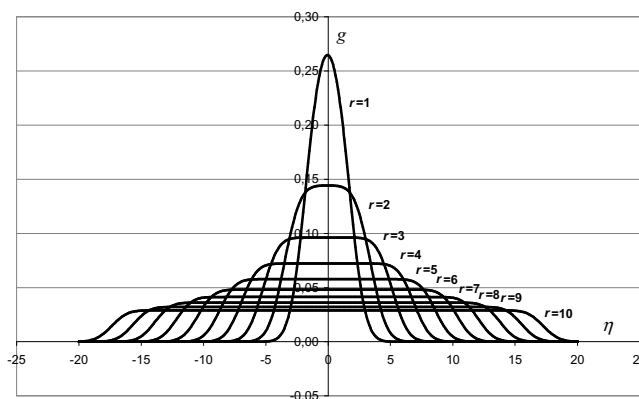
$$r = \frac{\sigma_p}{\sigma_N} \quad (3)$$

Parametr r rozkładu płasko-normalnego może być estymowany przy użyciu formuły wiążącej odchylenie pomiarowe z jego niepewnością standardową:

$$r_u = \frac{2 \cdot |e|}{3 \cdot u(e)} + 1 \quad (4)$$

Współczynnik rozszerzenia dla rozkładu płasko-normalnego może być obliczony metodami numerycznymi, ale również może być obliczony na podstawie rozkładu trapezowego, z zależności:

$$k_T = \sqrt{\frac{3}{r_u^2 + 1}} \left(1 + r_u - 2\sqrt{r_u(1-p)}\right) \quad (5)$$



Rys. 2. Funkcje gęstości rozkładu płasko-normalnego w zależności od wartości parametru r

4. Niepewność standardowa randomizowanego oddziaływania systematycznego

Niepewność standardowa randomizowanego oddziaływania systematycznego wynosi:

$$u_R = \frac{U}{k} = \frac{|e| + 2 \cdot u(e)}{k} \quad (6)$$

przy czym współczynnik rozszerzenia:

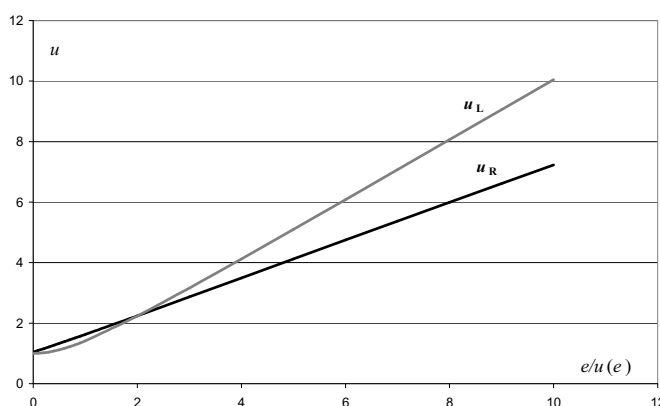
$$k = k_{PN} \approx k_T \quad (7)$$

5. Porównanie z podejściem literaturowym

Podejście prezentowane w literaturze [3] często sprowadza się do wyznaczania niepewności, związanej z oddziaływaniem systematycznym, na podstawie zależności:

$$u_L = \sqrt{e^2 + u^2(e)} \quad (8)$$

W tym podejściu wartość odchylenia pomiarowego e traktowana jest jak niepewność standardowa. Ponieważ odchylenie pomiarowe zawsze podawane jest z określoną niepewnością, to formuła (8) łączy niepewność standardową $u(e)$ z oszacowaniem e . Formuła (8) łączy składową systematyczną z przypadkową oddziaływania systematycznego i wyraża niepewność u_L podobnie jak prawo propagacji niepewności. Zależność ta jest funkcją nieliniową (rys. 3). Natomiast przedstawiona w referacie zależność u_R , wyrażona formułą (6), tworzy praktycznie funkcję liniową. Jednakowym przyrostom wartości składowych oddziaływania systematycznego towarzyszą proporcjonalne przyrosty wartości niepewności standardowej. Dzięki temu zależność pomiędzy składowymi a niepewnością standardową jest liniowa (rys. 3).



Rys. 3. Niepewność standardowa oddziaływania systematycznego policzona dwoma sposobami

6. Podsumowanie

Oddziaływanie systematyczne pomiaru może być włączone do przedziału rozszerzenia wyniku pomiaru. Traktowane jest wówczas jak składowa niepewności, która jest zmienną losową. Ta zmienna losowa opisana jest rozkładem płasko-normalnym. Rozkład

ten obejmuje dwie składowe oddziaływania systematycznego: odchylenie pomiarowe i jego niepewność wyznaczenia. Obliczenia niepewności standardowej i współczynnika rozszerzenia takiej wielkości nie są skomplikowane i mogą być łatwo implementowane do praktyki metrologicznej.

Podójście przedstawiane w literaturze nie zakłada rozkładu dla oddziaływania systematycznego. Przez to niepewność standardowa związana z tym oddziaływaniem może być obliczana tylko na podstawie prawa propagacji niepewności. Natomiast przedstawione tu obliczenia mogą być wykonywane zgodnie z zasadą propagacji rozkładów prawdopodobieństwa, rekomendowaną w dokumencie Międzynarodowego Biura Miar [4].

Literatura

1. Fotowicz P.: *Systematic effect as a part of the coverage interval*. Metrology and Measurement Systems, vol. XVII (2010).
2. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). JCGM 200:2008.
3. Kacker R., Sommer K-D., Kessel R.: *Evaluation of modern approaches to express uncertainty in measurement*. Metrologia, vol. 44 (2007).
4. Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method. JCGM 101:2008.

Wykorzystanie liczb losowych do obliczania niepewności pomiaru

Paweł Fotowicz

1. Wstęp

Dokument JCGM 101:2008 [1] wyznacza nowy standard w dziedzinie obliczania niepewności pomiaru. W miejsce prawa propagacji niepewności [2] wprowadza metodę propagacji rozkładów. Rozkład prawdopodobieństwa dla wielkości mierzonej nie jest przyjmowany a priori, lecz obliczany przy użyciu symulacji Monte Carlo poprzez matematyczny model wielkości wyjściowej. Miarą niepewności pomiaru jest przedział rozszerzenia, którego długość wyznacza odległość pomiędzy kwantylami tego rozkładu dla określonego prawdopodobieństwa rozszerzenia, na ogół 95 %.

2. Procedura Monte Carlo

Zalecana procedura [1] polega, w pierwszy kroku postępowania, na wyborze liczby próbek M . Liczba ta zależy od zakładanego prawdopodobieństwa rozszerzenia p . Przykładowo, dla zazwyczaj przyjmowanego $p = 95\%$, liczba ta wynosi $M = 10^4$. Następnie, na podstawie przyjętych rozkładów dla wielkości wejściowych generuje się zbiory możliwych wartości dla tych wielkości, każdy o liczebności równej M . Na podstawie tych wartości, wstawiając je do równania pomiaru, można wyznaczyć zbiór wartości dla wielkości wyjściowej. Sortując te wartości od najmniejszej do największej oraz przypisując im kolejne prawdopodobieństwa można wyznaczyć granice przedziału rozszerzenia. W przypadku symetrycznego rozkładu prawdopodobieństwa połowa tego przedziału wyznacza niepewność rozszerzoną.

Procedura powyższa zakłada oddzielne generowanie zbiorów dla każdej wielkości wejściowej i wykorzystanie równania pomiaru do wyznaczenia możliwych wartości dla wielkości wyjściowej. W pewnym, określonym przypadku można ten etap procedury pominąć i zastosować poniższe rozwiązanie.

3. Metoda obliczeniowa

Gdy równanie pomiaru jest liniowe lub linearyzowane, a wielkości wejściowe opisane są rozkładami: Studenta, normalnym, prostokątnym, trójkątnym lub trapezowym, zamiast generowania wielu zbiorów dla rozkładów wejściowych można generować tylko jeden zbiór wartości bezpośrednio dla wielkości wyjściowej określony równaniem:

$$y = u_i z_p + \sqrt{\sum_{j=1, j \neq i}^N \left(\frac{t(v)}{k_N} u_j \right)^2} z_N \quad (1)$$

gdzie z_p i z_N to zmienne losowe o rozkładach standaryzowanych, odpowiednio prostokątnym $P(0, 1)$ i normalnym $N(0, 1)$, u_i to największy udział o rozkładzie prostokątnym, $t(\nu)$ to kwantyl rozkładu Studenta o liczbie stopni swobody ν , k_N to kwantyl rozkładu normalnego, a u_j to pozostałe udziały niepewności. Dla wielkości wejściowych opisanych innymi rozkładami niż Studenta należy przyjąć $t(\nu) = k_N$.

Równanie powyższe definiuje zmienną losową o rozkładzie płasko-normalnym (P*N), który jest splotem rozkładu prostokątnego z normalnym. Standaryzowany rozkład P*N (0, 1) można otrzymać stosując równanie:

$$z_{PN} = \frac{r z_p + z_N}{\sqrt{r^2 + 1}} \quad (2)$$

gdzie r to parametr rozkładu płasko-normalnego, będący ilorazem odchylenia standardowego σ_p rozkładu prostokątnego do odchylenia standardowego σ_N rozkładu normalnego:

$$r = \frac{\sigma_p}{\sigma_N} \quad (3)$$

Sortując zbiór możliwych wartości dla wielkości wyjściowej y , od najmniejszej do największej, i przypisując im kolejne prawdopodobieństwa możemy wyznaczyć dystrybuantę numeryczną jej rozkładu. Ponieważ rozkład wielkości wyjściowej jest symetryczny, to można określić granice probabilistycznie symetrycznego przedziału rozszerzenia jako:

$$y_{\text{high}} = G^{-1}\left(\frac{1+p}{2}\right) \quad \text{i} \quad y_{\text{low}} = G^{-1}\left(\frac{1-p}{2}\right) \quad (4)$$

gdzie $G^{-1}(\alpha)$ jest kwantylem rzędu α dystrybuanty numerycznej rozkładu wielkości wyjściowej. Na tej podstawie można wyznaczyć niepewność rozszerzoną dla określonego prawdopodobieństwa rozszerzenia:

$$U = \frac{y_{\text{high}} - y_{\text{low}}}{2} \quad (5)$$

jako połowę długości probabilistycznie symetrycznego przedziału rozszerzenia.

4. Własności metody obliczeniowej

Własności proponowanej metody numerycznej prześledźmy na kilku przykładach obliczeniowych. Jednym z nich niech będzie prosty model pomiaru przedstawiony w dokumencie [1], zawierający cztery składowe opisane rozkładami prostokątnymi, z których jedna ma dziesięciokrotnie większą niepewność standardową od pozostałych, mających niepewność standardową równą umownie jeden. Na podstawie przedstawionych tam wartości granicznych 95 % probabilistycznie symetrycznego przedziału rozszerzenia można wyznaczyć, że $U_{\text{MCM}} = 17,0$. Używając metody numerycznej, przy zastosowaniu równania (1), uzyskamy dla tych samych danych wejściowych niepewność rozszerzoną $U_{\text{NM}} = 17,1$. Dla porównania stosując metodę analityczną, opisaną w publikacji [3], otrzymamy $U_{\text{AM}} = 16,9$.

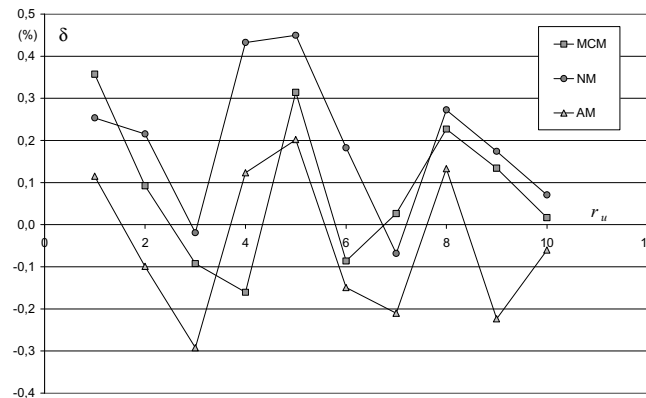
Powiększając w przykładowym modelu pomiaru liczbę składowych do dziesięciu można również wyznaczyć niepewność powyższymi metodami. Wyniki obliczeń odnoszono do wyniku obliczeń na bazie splotu dziesięciu rozkładów prostokątnych, wykonanych przy użyciu szybkiej transformaty Fouriera [4] i przedstawiono w postaci błędów metod w postaci:

$$\delta = \frac{U - U_{\text{splot}}}{U_{\text{splot}}} \quad (6)$$

gdzie U i U_{splot} to niepewności rozszerzone dla prawdopodobieństwa $p = 95\%$ obliczane rozpatrywaną metodą oraz metodą splotu rozkładów. Przykładowe wyniki obliczeń reprezentuje rys. 1. Wartości błędów obliczono w funkcji parametru:

$$r_u = \frac{|u_i|}{\sqrt{u_c^2 - u_i^2}} \quad (7)$$

gdzie u_c to złożona niepewność standardowa. Dla każdej składowej przyjęto niepewność standardową równą jeden, a dla składowej dominującej u_i większą od jednego. We wszystkich przypadkach obliczeniowych błąd metod nie przekraczał 1%.



Rys. 1. Przykładowe błędy względne metod obliczania niepewności rozszerzonej dla prawdopodobieństwa 95%. MCM – metoda Monte Carlo, NM – metoda numeryczna, AM – metoda analityczna

Podobnie postępując, jak w przykładzie z dokumentu [1] dla równania z czterema składowymi, można również przyjąć dla każdej z nich inny rozkład prawdopodobieństwa: Studenta, normalny, trójkątny i prostokątny. Można wykonać obliczenia, gdy wszystkim czterem składowym przypisuje się jednakową niepewność standardową równą umownie jeden oraz gdy każda z nich staje się dominująca z niepewnością dziesięciokrotnie większą od pozostałych. Przykładowe wyniki obliczeń przedstawia tabela 1. W obliczeniach przyjęto rozkład Studenta z liczbą stopni swobody $\nu = 2$. W przypadku obliczeniowym A brak jest dominacji składowej, a w pozostałych przypadkach obliczeniowych dominują odpowiednio: w B składowa o rozkładzie Studenta, w C składowa o rozkładzie normalnym, w D składowa o rozkładzie trójkątnym, a w E składowa o rozkładzie prostokątnym.

Tabela 1. Przykładowe wyniki obliczenia niepewności rozszerzonej dla różnych rozkładów i udziałów składowych w liniowym równaniu pomiaru

Metoda	MCM	NM	AM
A	5,42	5,48	5,45
B	43,21	43,07	43,16
C	20,20	20,18	20,26
D	19,88	19,86	19,84
E	17,38	17,47	17,26

5. Wnioski

Zaproponowana metoda numeryczna zapewnia podobną dokładność obliczeniową niepewności rozszerzonej i tym samym przedziału rozszerzenia jak metoda Monte Carlo i metoda analityczna. Przy obliczeniach nie ma konieczności generowania oddzielnie rozkładów dla każdej wielkości wejściowej, bowiem z równania pomiaru (1) od razu uzyskujemy zbiór wartości dla wielkości wyjściowej na podstawie przypisanych rozkładów poszczególnym składowym i wartości ich udziałów. Równanie pomiaru powinno być liniowe lub linearyzowane. Pozwala na natychmiastowe obliczenia niepewności dla dowolnej liczby składowych. Łatwo się implementuje do tabeli budżetu niepewności, przy użyciu arkusza kalkulacyjnego.

Literatura

1. Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method. JCGM 101:2008.
2. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. JCGM 100:2008.
3. Fotowicz P.: *An analytical method for calculating a coverage interval*. Metrologia, vol. 43 (2006).
4. Korczyński M. J., Hetman A., Fotowicz P.: *Fast Fourier Transformation – An Approach to Coverage Interval Calculation vs. Approximation Methods*. AMUEM 2005.

Wykorzystanie komparatora *RLC* w pomiarach elementów państwowego wzorca jednostki miary pojemności elektrycznej

Adam Ziółek, Maciej Koszarny

1. Wstęp

Wzorzec państwowy jednostki miary pojemności elektrycznej jest układem pomiarowym składającym się z grupy czterech termostatyzowanych kondensatorów z dielektrykiem kwarcowym, o wartościach nominalnych pojemności elektrycznej 10 pF oraz z precyzyjnych mostków transformatorowych. Niepewność rozszerzona względna odtwarzania jednostki miary pojemności elektrycznej dla poziomu ufności 95 % wynosi $0,5 \times 10^{-6}$, przy częstotliwości 1000 Hz i 1592 Hz.

Pomiary elementów wzorca grupowego przeprowadzane są za pomocą automatycznego mostka transformatorowego AH 2500A przy częstotliwości 1 kHz. Wartość grupowa grupy wzorców wyznaczona jest jako średnia z wartości poprawnych pojemności czterech kondensatorów i jest przyjmowana jako stała aż do następnego wzorcowania w laboratorium referencyjnym. Wartości kondensatorów wchodzących w skład grupy ustalane są na podstawie zmierzonych różnic między ich wartościami przy porównaniu „każdego z każdym”.

Wzorcami odniesienia powiązаныmi układem sprawdzań z wzorcem państwowym jednostki miary pojemności elektrycznej przy częstotliwości 1000 Hz i 1592 Hz są kondensatory o wartościach nominalnych 10 pF, 100 pF i 1000 pF. Są to kondensatory typu 1408 (10 pF i 100 pF), znajdujące się w termostacie o temperaturze ok. 29,7 °C, mające współczynnik temperaturowy 12 ppm/°C, a także kondensatory typu 1404-A (grupa 4 elementów o wartościach 1000 pF), 1404-B (1 element o wartości 100 pF) i 1404-C (5 elementów o wartościach 10 pF), mające współczynnik temperaturowy 5 ppm/°C i kondensator typu 11A o wartości 100 pF, o współczynniku temperaturowym 0,01 ppm/°C.

Rozszerzenie zakresu wzorca odniesienia w stosunku do wartości pojemności elektrycznej państwowego wzorca jednostki miary równej 10 pF następuje poprzez zastosowanie mostka transformatorowego (GR 1621), który pozwala na porównanie wartości pojemności dwóch kondensatorów z ilorazem wartości 1:10, 10:1 i 1:1.

Komparator *RLC* typu 2100 jest urządzeniem, które pozwala na porównywanie wzorców impedancji w stosunku 1:1 i 1:10 z bardzo wysoką dokładnością, tak więc został on zastosowany do pomiarów elementów wzorca państwowego pojemności elektrycznej [1, 2].

Porównanie wzorców o jednakowych wartościach nominalnych (10 pF) może się odbywać trzema sposobami.

2. Metody pomiarowe

W przypadku bezpośredniego porównania do komparatora podłączane są wzorzec odniesienia i wzorzec mierzony oraz wpisywana do programu komparatora wartość po-

prawną pojemności elektrycznej i stratności wzorca odniesienia. Następnie dokonywane jest przeniesienie jednostki, a wynik pomiaru można odczytać wprost z panelu pomiarowego. Niepewność przeniesienia wyliczana jest ze wzoru:

$$\delta_R = \delta_{ci} \left(1 + \alpha_i \frac{C_0}{C_x} \right) + \Delta \delta_{vi} \quad (1)$$

gdzie:

δ_{ci} i α_i – współczynniki dla i -tego zakresu,

C_0 – wzorzec mierzony,

C_x – wzorzec odniesienia,

Δ – niezrównoważenie mostka, zdefiniowane jako:

$$\Delta = \frac{Z_x}{Z_0} \frac{1}{0.N} - 1 \quad (2)$$

gdzie:

$0.N$ – jest równe liczbie 0.1, 0.2, 0.3...0.9, 1.0 – najbliższej stosunku Z_x/Z_0 ,

δ_{vi} – składowa związana z niepewnością pomiaru niezrównoważenia.

Biorąc pod uwagę fakt, że stratność kondensatorów wchodzących w skład państwowego wzorca jednostki miary pojemności elektrycznej jest bardzo mała (rzędu 1×10^{-6}) i ich wartości prawdziwe są bardzo bliskie wartości nominalnej (różnice od nominalnej poniżej 0,0004 %), więc niezrównoważenie mostka Δ jest pomijalnie małe i dla metody bezpośredniego porównania niepewność przeniesienia wyliczana jest z pierwszego członu równania (1).

Drugą metodą, którą można zrealizować przy pomocy komparatora jest metoda podstawienia. W metodzie tej niepewność przyrządu pomiarowego nie wpływa na niepewność pomiaru. Ponieważ komparator nie posiada wzorców wewnętrznych, należy podłączyć do niego wzorzec o wartości nominalnej takiej jak wzorzec mierzony, który będzie pełnił funkcję wzorca odniesienia. Należy podłączyć wzorzec (o znanej wartości poprawnej) o tej samej wartości nominalnej i dokonać transferu z wzorca odniesienia, następnie wykonać to samo dla wzorca mierzonego.

Po obliczeniu stosunku uzyskanych wyników dla obu przeniesień ze wzoru:

$$R = \frac{C_1(1 + \delta_{s1})}{C_2(1 + \delta_{s2})} \approx \frac{C_1}{C_2} (1 + \delta_{s1} - \delta_{s2}) \quad (3)$$

gdzie:

δ_{si} – składowa związana z odchyleniem standardowym wyników pomiaru i -tego wzorca.

Przy założeniu, że $\delta_{s1} = \delta_{s2} = \delta_s$ równanie (3) przyjmuje postać:

$$R = \frac{C_1}{C_2} (1 + \sqrt{2} \delta_s) \quad (4)$$

W metodzie zamiany wzorców miejscami nie jest używany dodatkowy wzorzec odniesienia. Podłączane są porównywane wzorce, przeprowadzany transfer, a następnie zamienia się je miejscami i wykonuje transfer ponownie. Następnie oblicza się stosunki impedancji R_1 i R_2 dla obu transferów i ze wzoru:

$$\frac{R_1 - R_2}{2} = \delta_c \quad (5)$$

Dzięki temu wyeliminowane zostaje z końcowego wyniku tzw. przesunięcie zera komparatora. Ostatecznie dla znanej wartości pojemności C_2 uzyskiwana jest wartość poprawna mierzonego kondensatora C_1 ze wzoru:

$$C_1 = \left(1 + \frac{R_1 - R_2}{2} \right) C_2 \quad (6)$$

3. Wyniki

Przy pomocy opisanych powyżej metod, przeprowadzono pomiary wzorców wchodzących w skład państwowego wzorca jednostki miary pojemności elektrycznej, a także wzorców odniesienia. Pomiary elementów nietermostatyzowanych (1404) przeprowadzone były w warunkach izolacji termicznej (monitorowane czujnikiem temperatury Pt 100), zapewniając ich stabilizację termiczną na poziomie 0,4 °C. Uzyskane wyniki wraz z niepewnościami zostały przedstawione w tabelach.

Tabela 1. Wartości elementów wzorca państwowego pojemności elektrycznej wyznaczone przy użyciu różnych metod oraz wartości z BIPM przy częstotliwości 1 kHz (pF)

Numer wzorca	BIPM (2010)	Metoda		
		Grupowa	Podstawienia	Zamiany miejsc
1024	10,0000428	10,000041	10,0000408	10,0000408
1025	10,0000213	10,000021	10,0000214	10,0000214
1026	10,0000179	10,000018	10,0000178	10,0000178
1027	–	10,000023	10,0000233	10,0000234
Niepewność rozszerzona	0,10 ppm	0,5 ppm	0,14 ppm	0,12 ppm

Tabela 2. Wartości wzorców odniesienia wyznaczone przy użyciu różnych metod pomiarowych przy częstotliwości 1 kHz (pF)

typ/nr wzorca	Metoda			
	GR1621, AH 2500A	Porównania	Podstawienia	Zamiany miejsc
11A/1507	99,9990 ± 0,0002	99,9989 ± 0,0001	–	–
1408/200	10,00003 ± 0,00006	10,00002 ± 0,00003	10,00002 ± 0,00003	10,00002 ± 0,00003
1408/211	100,0004 ± 0,0007	100,0004 ± 0,0003	100,0003 ± 0,0003	100,0004 ± 0,0003
1404-C/3628	10,00010 ± 0,00006	10,00009 ± 0,00003	10,00008 ± 0,00003	10,00009 ± 0,00003
1404-B/951	99,9978 ± 0,0007	99,9977 ± 0,0003	99,9976 ± 0,0003	99,9976 ± 0,0003
1404-A/1123	999,999 ± 0,006	999,996 ± 0,003	–	–

4. Podsumowanie

Z otrzymanych rezultatów wynika, że dzięki zastosowaniu komparatora *RLC* 2100 w pomiarach elementów państwowego wzorca jednostki miary pojemności elektrycznej, można uzyskać ich wartości z większą dokładnością niż przy pomocy stosowanych dotychczas mostków. Głównym czynnikiem wpływającym na niepewność wyznaczenia tych war-

tości jest niepewność wzorców wyznaczona przez laboratorium referencyjne. Użycie komparatora pozwoliło także na wyznaczenie wartości wzorców odniesienia z niepewnością znacznie mniejszą niż dotychczas. Głównym czynnikiem na nią wpływającym jest fakt, że nie są one wyposażone w termostaty, co powoduje brak należytej stabilności termicznej.

Literatura

1. Surdu M., Lameko A., Tarłowski A., Rzepakowski R.: *Utworzenie optymalnej bazy wzorców w dziedzinie pomiaru parametrów impedancji zespolonych*. *Pomiary Automatyka Robotyka* 9/2007.
2. Surdu M., Lameko A., Karpov I., Klonz M., Koffman A., Kinard J., Tarłowski A.: *Bridges for the realization of the units and build-up of the scale for electrical resistance, capacitance and inductance*. Konferencja CPEM 2006, Turyn, str. 520-52.

Komparacja przetworników termicznych AC/DC metodą dwukanałową

Andrzej Kaźmierczak, Andrzej Kruszyński, Paweł Zawadzki

1. Termiczne przetworniki wartości skutecznej

Podstawowym parametrem metrologicznym każdego przetwornika TVC jest błąd transferowy zwany też różnicą transferową przetwornika. Błąd ten, zgodnie z jego definicją, można opisać matematycznie za pomocą następującego wzoru:

$$\delta_t = \frac{U_{AC} - U_{DC}}{U_{DC}} \Big|_{E_{AC}=E_{DC}} \quad (1)$$

gdzie:

δ_t – błąd transferowy przetwornika,

U_{AC} – wartość skuteczna napięcia wejściowego AC przetwornika,

U_{DC} – wartość napięcia wejściowego DC przetwornika,

E_{AC} – napięcie wyjściowe przetwornika przy sygnale wejściowym AC,

E_{DC} – napięcie wyjściowe przetwornika przy sygnale wejściowym DC.

Znajomość tego parametru pozwala na wyznaczenie wartości skutecznej napięcia AC, podanego na wejście przetwornika, w odniesieniu do znanego napięcia DC. Przetworniki termiczne wartości skutecznej można podzielić pod względem zasady działania na termoelektryczne (jednozłączowe, wielozłączowe) oraz tranzystorowe.

2. Przetworniki termiczne w schemacie spójności pomiarowej GUM

Podobnie jak w Krajowych Instytutach Metrologicznych (NMI) innych krajów, tak i w Głównym Urzędzie Miar (GUM), rolę wzorców odniesienia dla napięć AC pełnią przetworniki TVC. W GUM jest to zestaw przetworników termicznych jednozłączowych Holt Model 11, w skład którego wchodzi termoelementy i rezystory rozszerzające zakresy pomiarowe [1]. Zestaw ten pozwala na odniesienie wartości skutecznej napięcia AC do wzorcowej wartości napięcia DC w zakresie napięć 0,6 V – 1 kV i częstotliwości od 10 Hz do 1 MHz. Różnica transferowa tego wzorca jest wyznaczana względem wzorca PTB (Niemcy), natomiast napięcie DC jest powiązane ze wzorcem państwowym napięcia elektrycznego stałego, utrzymywanym w GUM (złącze Josephsona), poprzez wzorzec napięcia DC – stabilne źródło o wartości 10 V, wykorzystujące w swej budowie właściwości diody Zenera. W zakresie niskich napięć (poniżej 0,6 V) funkcję wzorca odniesienia GUM pełni wielozakresowy półprzewodnikowy przetwornik termiczny Fluke 792A, również odnoszony do wzorca PTB. Dla zakresu napięcia powyżej 0,6 V przetwornik Fluke 792A jest w GUM komparowany z przetwornikiem Holt Model 11 i używany do wzorcowania kalibratorów i multimetrów, gdy wymagana jest szczególnie duża dokładność pomiarów.

3. Komparacja przetworników termicznych

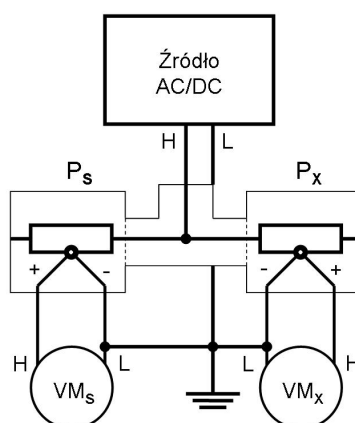
Przeniesienie jednostki napięcia przemiennego z przetwornika odniesienia na przetwornik wzorcowany dokonywane jest w procesie komparacji. W GUM stosowana jest komparacja dwukanałowa [2]. Polega ona na równoczesnym pomiarze napięć wyjściowych obu przetworników (wzorcowego i wzorcowanego), na których wejścia podawane jest napięcie ze źródła AC/DC w sekwencji składającej się z pięciu kroków, kolejno: U_{AC} , $+U_{DC}$, U_{AC} , $-U_{DC}$, U_{AC} .

Arytmetyczne uśrednienie dwóch wartości napięć wyjściowych, będących odpowiedziami przetwornika na wejściowe napięcia $+U_{DC}$ i $-U_{DC}$, minimalizuje jego błąd rewersji.

Uśrednienie trzech wartości napięć wyjściowych, odpowiadających napięciom wejściowym U_{AC} , minimalizuje wpływ krótkookresowych niestabilności przetworników oraz źródła napięcia AC. Dla potrzeb analizy statystycznej wyników wykonywane jest 12 takich sekwencji.

Cechą charakterystyczną metody dwukanałowej jest to, że wartości napięć U_{AC} i U_{DC} nie muszą być sobie równe, gdyż różnica „ $U_{AC} - U_{DC}$ ” oddziałuje jednocześnie, i w takim samym stopniu, na oba przetworniki.

Układ pomiarowy stosowany w GUM przedstawiony jest schematycznie na rys. 1.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego stosowanego w GUM do dwukanałowej komparacji przetworników termicznych

Różnicę transferową przetwornika wzorcowanego oblicza się zgodnie z następującym równaniem [2]:

$$\Delta_x = \frac{E_{sAC} - E_{sDC}}{n_s \cdot E_{sDC}} - \frac{E_{xAC} - E_{xDC}}{n_x \cdot E_{xDC}} + \Delta_s \quad (2)$$

gdzie:

Δ_x – różnica transferowa przetwornika wzorcowanego,

E_{xAC} – wartość napięcia wyjściowego przetwornika wzorcowanego przy wejściowym sygnale AC obliczona jako średnia z trzech wyników uzyskanych w pierwszym, trzecim i piątym kroku sekwencji pomiarowej,

E_{xDC} – wartość napięcia wyjściowego przetwornika wzorcowanego przy wejściowym sygnale DC obliczona jako średnia z dwóch wyników uzyskanych w drugim i czwartym kroku sekwencji pomiarowej,

- E_{SAC} – wartość napięcia wyjściowego przetwornika wzorcowego przy wejściowym sygnale AC obliczona analogicznie jak E_{XAC} ,
- E_{SDC} – wartość napięcia wyjściowego przetwornika wzorcowego przy wejściowym sygnale DC obliczona analogicznie jak E_{XDC} ,
- n_x – wykładnik funkcji przetwarzania przetwornika wzorcowanego,
- n_s – wykładnik funkcji przetwarzania przetwornika wzorcowego,
- Δ_s – poprawka przetwornika wzorcowego (parametr ze świadectwa wzorcowania przetwornika wzorcowego).

3.1. Równanie pomiaru i szacowanie niepewności dla komparacji przetworników termicznych

Równanie pomiaru różnicy transferowej przetwornika wzorcowanego (Δ_x) można wyrazić jako sumę: różnicy pomiarowej (Δ_B), poprawki wynikającej z braku powtarzalności wyników z serii pomiarowej (Δ_A) oraz poprawki przetwornika wzorcowego (Δ_s), przy pomocy następującego równania:

$$\Delta_x = \Delta_B + \Delta_A + \Delta_s \quad (3)$$

Niepewność pomiaru można wyrazić, jako geometryczną sumę niepewności składników Δ_A , Δ_B i Δ_s :

$$u(\Delta_x) = \sqrt{u(\Delta_B)^2 + u(\Delta_A)^2 + u(\Delta_s)^2} \quad (4)$$

przy czym:

- $u(\Delta_A)$ – niepewność poprawki, wynikającej z braku powtarzalności wyników z serii pomiarowej Δ_A , jest liczona metodą typu A i jest odchyleniem standardowym eksperymentalnym średniej wyników serii pomiarowej,
- $u(\Delta_s)$ – niepewność różnicy transferowej przetwornika wzorcowego Δ_s jest niepewnością szacowaną metodą typu B, a jej wartość uzyskana jest ze świadectwa wzorcowania przetwornika wzorcowego,
- $u(\Delta_B)$ – niepewność składnika Δ_B liczona metodą typu B.

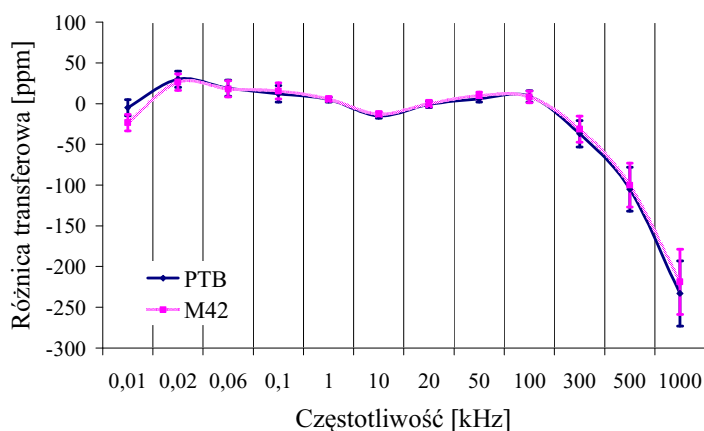
Niepewność $u(\Delta_B)$ można przedstawić w postaci sumy geometrycznej niepewności składników, od których zależy Δ_B , pomnożonych przez odpowiadające im współczynniki wrażliwości, zgodnie z metodą przedstawioną w Przewodniku wyrażania niepewności pomiaru. W rezultacie równanie niepewności pomiaru przy komparacji przetworników termicznych przyjmuje rozwiniętą postać, na podstawie której tworzy się budżet niepewności.

4. Analiza wybranych przykładów

Przeprowadzono wzorcowanie przetwornika Fluke 792A (wzorca roboczego) przy pomocy wzorca odniesienia GUM przetwornika Holt Model 11 dla napięcia 10 V i dla częstotliwości 1 kHz. Zostało ono przeprowadzone metodą dwukanałową przy zastosowaniu schematu połączeń jak na rys. 1. Źródłem sygnału napięciowego AC/DC był kalibrator Fluke 5720. Analiza budżetu niepewności wykazała, że najistotniejszym składnikiem jest niepewność przetwornika wzorcowego. W dalszej kolejności wpływ na niepewność kompa-

racji mają niepewności wskazań stosowanych mierników, co wynika głównie z ich ograniczonej rozdzielczości.

W celu sprawdzenia poprawności pomiarów, wykonywanych w laboratorium M42, porównano wyniki wzorcowania przetwornika Fluke 792A uzyskane w naszym laboratorium z wynikami wzorcowania przetwornika Fluke 792A w PTB. Porównania wyników dokonano dla wartości napięcia 600 mV, w zakresie częstotliwości 10 Hz – 1 MHz. Wyniki uzyskane w GUM zostały przedstawione na tle wyników wzorcowania w PTB na rys. 2.



Rys. 2. Porównanie wyników wzorcowania przetwornika Fluke 792A dokonanych w GUM i w PTB

Wyniki wzorcowania przeprowadzonego w GUM pokrywają się z wynikami wzorcowania dokonanego w PTB. Uzyskano dużą zbieżność obu krzywych charakterystyk częstotliwościowych różnicy transferowej przetwornika. Największe rozbieżności wystąpiły dla skrajnych wartości częstotliwości (10 Hz oraz 1 MHz). W przypadku punktu pomiarowego 1 MHz wyznaczone błędy transferowe przetwornika mieszczą się w zakresach niepewności pomiarów, a w przypadku 10 Hz zakresy niepewności tylko częściowo zachodzą na siebie. Obecnie prowadzone są prace zmierzające do wykrycia przyczyn owych rozbieżności.

5. Podsumowanie

Omówiony przykład budżetu niepewności dotyczy tylko jednego, wybranego punktu pomiarowego. Wzorcowanie przetwornika w pełnym zakresie pomiarowym przeprowadza się dla wielu punktów pomiarowych. Czyni to tę czynność znacznie bardziej pracochłonną. Czas komparacji jednego punktu pomiarowego wynosi ok. 40 minut przy zastosowaniu oprogramowania do pomiarów automatycznych.

Przedstawiony przykład porównania wyników pomiarów dokonanych przez GUM i PTB pozwala na postawienie tezy o poprawności metody pomiarowej komparacji dwukanałowej przetworników TVC stosowanej w GUM.

Literatura

1. Barański A., Ratajczak J., Zawadzki P.: *Przetworniki termoelektryczne AC/DC jako wzorce napięcia przemiennego*. PAK 2007 nr 9bis, s. 38-41.
2. Kampik M.: *Stanowisko do wzorcowania termicznych przetworników wartości skutecznej napięcia przemiennego*. Przegląd Elektrotechniczny, 1, 239-244 (2010).

Porównanie wzorców odniesienia temperatury punktu rosy DPG1 i DPG2 w zakresie +10 °C do +20 °C

Rafał Jarosz

1. Wstęp

Podstawową jednostką w pomiarach wilgotności powietrza jest temperatura punktu rosy/szronu, która określa temperaturę powietrza, w której zawarta w nim para wodna osiąga stan nasycenia. Przyrządami pomiarowymi dla ww. jednostki są higrometry wzorcowe, których detekcja polega na pomiarze natężenia światła odbitego od lustra pokrytego rosą lub szronem. Aby zapewnić spójność pomiarową higrometry punktu rosy są wzorcowane za pomocą krajowych wzorców odniesienia.

W dziedzinie wilgotności międzynarodowe instytucje metrologiczne o najlepszej możliwości pomiarowej ($\leq 0,05$ °C) generują nasycony strumień powietrza za pomocą generatorów temperatury punktu rosy. W Laboratorium Wilgotności Głównego Urzędu Miar przeprowadzane są wzorcowania za pomocą dwóch konstrukcji generatora punktu rosy DPG1 oraz DPG2. Podział związany jest z generowaniem nasyconego strumienia powietrza o temperaturze wyższej od temperatury powietrza. Obie konstrukcje zostały w całości opracowane i wykonane w Laboratorium Wilgotności. W celu potwierdzenia jakości otrzymywanych wyników za pomocą DPG, obie konstrukcje brały udział w kluczowych porównaniach międzynarodowych EURAMET-K6 (P621) oraz EUROMET-K8 (P717).

W obliczeniach higrometrycznych zasadnicze znaczenie mają zależności ciśnienia cząstkowego nasyconej pary wodnej p_w i p_i od temperatury (w fazie czystej, nad płaską powierzchnią wody/ lodu). Gdy temperatura wyrażana jest w kelwinach (wg skali temperatur ITS 90), a obliczane ciśnienia cząstkowe mają być wyrażane w paskalach, zależności te mają następującą postać [1], [2]:

a) dla wody

$$\ln(p_w(T)) = -6096,9385 \cdot T^{-1} + 21,2409642 - 2,711193 \cdot 10^{-2} \cdot T + 1,673952 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 2,433502 \cdot \ln(T) \quad (1)$$

b) dla lodu

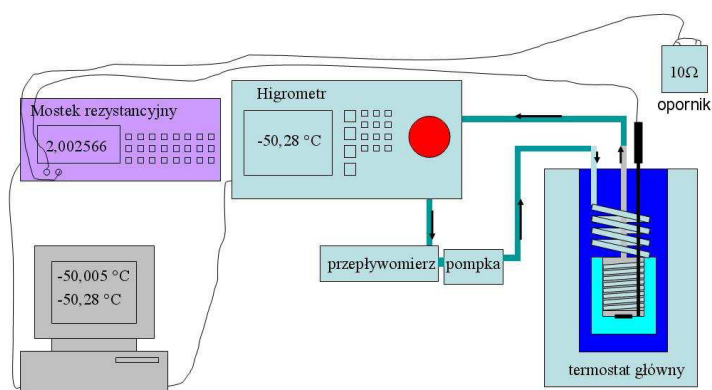
$$\ln(p_i(T)) = -6024,5282 \cdot T^{-1} + 29,32707 + 1,0613868 \cdot 10^{-2} \cdot T + 1,3198825 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,49382577 \cdot \ln(T) \quad (2)$$

Poniżej przedstawiono budowę i zasadę działania dwóch generatorów temperatury punktu rosy/szronu DPG1 i DPG2.

2. Generator temperatury punktu rosy DPG1

Generator temperatury punktu szronu/rosy DPG1 składa się z: saturatora głównego, termostatu głównego, wzorcowego platynowego czujnika rezystancyjnego SPRT, mostka rezystancyjnego, zewnętrznego opornika wzorcowego, przepływomierza, pompki, układu

rurek teflonowych lub stalowych oraz jednostki rejestrującej dane. Poniżej przedstawiono schemat DPG1.



Rys. 1. Generator temperatury punktu rosy/szronu DPG1

Strumień powietrza przechodzi przez wszystkie elementy DPG1 w obwodzie zamkniętym, w celu osiągnięcia pełnego stanu nasycenia poprzez stopniowe nawilżanie. Temperaturę punktu rosy bądź szronu regulujemy temperaturą saturatora głównego umieszczonego w termostacie. Najniższy punkt saturatora głównego decyduje o generowanej temperaturze punktu szronu/rosy. W prezentowanym przypadku, ze względu na wertykalną budowę przestrzeni roboczej termostatu, dolna powierzchnia saturatora jest najchłodniejsza.

Sercem każdego generatora temperatury punktu rosy jest saturator główny. W DPG1 saturator ma konstrukcję walcową bez zbędnych saturatorów wstępnych. Górna część to zwinięta węzownica. W celu wydłużenia drogi przepływu strumienia powietrza następuje stopniowa kondensacja lub saturacja. Kolumnowa budowa saturatora i przestrzeni roboczej termostatu zdeterminowała zastosowanie czujnika SPRT, którego 90 % długości jest zanurzona w cieczy termostatu. Dodatkowo zastosowano górne uszczelnienie pokrywą teflonową, w celu zminimalizowania wpływu temperatury otoczenia na czujnik SPRT.

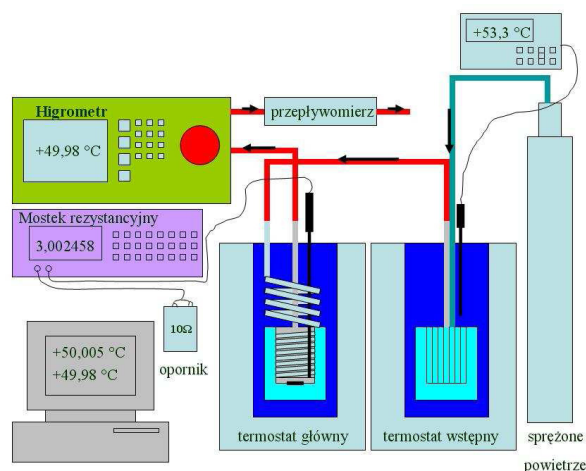
Generator DPG1 przeznaczony jest do wzorcowań higrometrów punktu rosy/szronu w zakresie od -80 °C do $+20\text{ °C}$ temperatury punktu szronu/rosy [3]. W zakresie niskich temperatur (-80 °C ÷ -30 °C) układ zamknięty DPG1 łączy się za pomocą rurek ze stali nierdzewnej elektropolerowanej, o średnicy wewnętrznej 0,215 in. Ze względu na niewielką objętość instalacji gazowej $0,05\text{ m}^3$ wewnątrz saturatora głównego umieszczone jest około 5 kropeł wody destylowanej, co wystarcza aby w pełni nasycić strumień powietrza.

Zastosowanie tego typu instalacji gazowej ma na celu zapobieżenie lub maksymalne ograniczenie występowania wewnątrz instalacji zjawiska sorpcji i desorpcji o charakterze objętościowym. Ma to szczególne znaczenie podczas generowania temperatury punktu rosy poniżej -50 °C . Dla zakresu (-30 °C ÷ $+20\text{ °C}$) instalacja gazowa jest montowana z rurek teflonowych. W obydwu przypadkach elementami łączeniowymi są połączenia typu swagelok.

Dla generatora DPG1, w zastosowanym termostacie, medium jest alkohol etylowy. Dolna granica zakresu DPG1 jest ograniczona zakresem schłodzenia cieczy w termostacie (-80 °C), natomiast górna granica ($+20\text{ °C}$) jest ograniczona poprzez temperaturę otoczenia. Temperatura otoczenia niższa od elementów instalacji gazowej DPG1 generuje punkty, w których nastąpi kondensacja pary wodnej. Wzorcowany higrometr punktu rosy wskazywałby zaniżoną wartość temperatury punktu rosy. Aby rozszerzyć zakres generowanej temperatury punktu rosy ($+10$ ÷ $+95$) $^{\circ}\text{C}$ skonstruowano generator DPG2 opisany poniżej.

3. Generator temperatury punktu rosy DPG2

Generator temperatury punktu szronu/rosy DPG2 składa się z: saturatora głównego, termostatu głównego, saturatora wstępnego, termostatu wstępnego, wzorcowego platynowego czujnika rezystancyjnego SPRT, mostka rezystancyjnego, zewnętrznego opornika wzorcowego, przepływomierza, układu podgrzewanych rurek teflonowych, butli ze sprężonym powietrzem oraz jednostki rejestrującej dane. Na rys. 2 przedstawiono schemat DPG2.



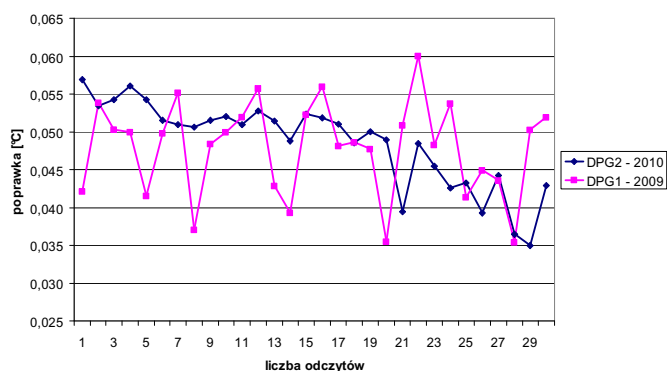
Rys. 2. Generator temperatury punktu rosy/szronu DPG2

W porównaniu z generatorem DPG1 dodatkowymi elementami są saturator i termostat wstępny, podgrzewane teflonowe rurki oraz butla ze sprężonym powietrzem. W DPG2 zastosowano inną metodę generowania nasyconego strumienia powietrza, tj. kondensację nadmiaru pary wodnej w saturatorze głównym, w strumieniu powietrza nawilżonego, w saturatorze wstępnym. Źródłem powietrza jest butla ze sprężonym powietrzem, która gwarantuje stabilny przepływ w DPG2, ustalany na poziomie 0,5 l/min. Powietrze przepływając przez saturator wstępny nawilża się do około 98 % wydajności zastosowanego saturatora, tj. temperatury punktu rosy niższej, o około 1 °C, niż temperatura termostatu wstępnego t_w . Strumień powietrza nawilżony do temperatury $(t_w - 1)$ °C przechodzi przez podgrzewane teflonowe przewody do saturatora głównego, którego temperatura t_g jest o około 3÷4 °C niższa niż saturatora wstępnego. W saturatorze głównym następuje kondensacja nadmiaru pary wodnej ze strumienia powietrza. Na wyjściu z saturatora głównego otrzymujemy w 100 % nasycony strumień powietrza, który trafia bezpośrednio na głowice pomiarową wzorcowanego higrometru punktu rosy. Saturator główny przed montażem jest czyszczony wodą destylowaną i alkoholem etylowym, a następnie osuszany sprężonym powietrzem. W tak przygotowanym saturatorze nie jest umieszczana woda destylowana, gdyż pełni on rolę miejsca kondensującego nadmiar pary wodnej.

4. Wyniki porównań DPG1 z DPG2

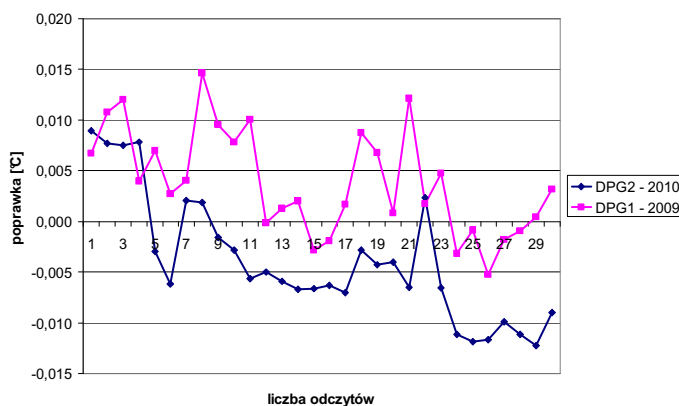
Generatory DPG1 oraz DPG2 ze względu na zastosowane medium w termostatach alkohol etylowy i woda destylowana posiadają wspólny zakres pracy, tj. od +10 °C do +20 °C. W celu walidacji obu metod generowania nasyconego strumienia powietrza, generatory DPG1 i DPG2 uczestniczyły w porównaniach międzynarodowych P621 oraz P717, z wyini-

kiem pozytywnym potwierdzającym deklarowaną najlepszą niepewność rozszerzoną równą $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dodatkowo w zakresie wspólnym od $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ przeprowadzono dodatkowe porównania wyników, uzyskanych za pomocą generatorów DPG1 i DPG2, podczas wzorcowania higrometru temperatury punktu rosy 373L. Na rys. 3 przedstawiono wykres dla wzorcowania w temperaturze punktu rosy $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Rys. 3. Wyniki wzorcowania higrometru punktu rosy 373L dla $t_{dp} = +10\text{ }^{\circ}\text{C}$ za pomocą generatorów DPG1 oraz DPG2

Na rys. 4 przedstawiono wykres dla wzorcowania w temperaturze punktu rosy $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Rys. 4. Wyniki wzorcowania higrometru punktu rosy 373L dla $t_{dp} = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$ za pomocą generatorów DPG1 oraz DPG2

Niepewność rozszerzona dla higrometru 373L dla $t_{dp} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ oraz $t_{dp} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ wyniosła $\pm 0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$. Otrzymane wyniki potwierdzają słuszność stosowania wymiennie generatorów DPG1 i DPG2, w zakresie temperatury punktu rosy $(+10 \div +20)\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Literatura

1. Sonntag D.: *Important New values of the physical constants of 1986, vapour pressure formulations based on the ITS-90, and psychrometr formulae*. Zeitschrift fur Metrologie, 1990.
2. *A Guide to the Measurement of Humidity, Published by the Institute of Measurement and Control*. London, 1996.
3. Flakiewicz K.: *Improvement of the primary humidity standard in GUM, 8th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, TEMPMEKO*. Berlin, 2001.

Spójność pomiarowa w dziedzinie wilgotności powietrza

Krzysztof Flakiewicz

1. Wstęp

Sprawa logicznego i przejrzystego usystematyzowania zbioru wielkości pomiarowych jest istotna dla właściwej realizacji spójności pomiarowej w każdej dziedzinie. Stanowi ona podstawę do racjonalnego wyboru nieprzerwanego łańcucha powiązań przy przekazywaniu jednostki miary danej wielkości i optymalizacji hierarchii wzorcowań. Pozwala także na lepszą identyfikację powiązań między różnymi wielkościami stosowanymi w danej dziedzinie. Kiedy mamy do czynienia z mieszaniem pojęć różnego rodzaju, powiązania między nimi stają się mętne, a poruszanie w danej dziedzinie pomiarowej staje się kłopotliwe dla przeciętnego użytkownika. Tak jak w przypadku dziedziny pomiarów wilgotności powietrza i gazów, także w innych dziedzinach istotne jest oddzielenie pojęcia dziedziny od wielkości stosowanych do jej opisu. W niektórych przypadkach pojęcie dziedziny może pokrywać się z pojęciem wielkości stosowanej do jej opisu, jak np. długość, masa, czas. O ile sama dziedzina jest określana opisowo, o tyle od wielkości mierzalnych wymagane jest w zasadzie ściśle zdefiniowanie jej z podaniem odpowiedniej formuły matematycznej.

Zachowanie logicznej struktury pojęć jest istotne nie tylko dla przejrzystego przedstawiania danej dziedziny, zrozumiałego opisu zjawisk i zależności opisujących je, ale także dla tworzenia ścisłego i konsekwentnego łańcucha spójności pomiarowej. W celu dokonania klasyfikacji konieczne jest ustalenie odpowiednich kryteriów. Wybór niewłaściwych kryteriów klasyfikacji pojęć powoduje, że wzajemne relacje między nimi stają się niezrozumiałe, podejście do danej dziedziny staje się mechaniczne, a istota zjawiska niejasna. Określenia takie jak niska czy wysoka wilgotność są niewłaściwe, gdyż to co jest „niską wilgotnością” np. 20 % dla wilgotności względnej w temperaturze 80 °C, będzie już dosyć wysoką wilgotnością dla temperatury punktu rosy (45 °C).

2. Wielkości stosowane w dziedzinie wilgotności (higrometrii)

Pojęcie wilgotności dotyczy zjawisk związanych z występowaniem pary wodnej w różnych układach fizycznych (zamkniętych i otwartych), w obecności lub bez innych faz wody oraz innych składników układów. Jest ono istotne z uwagi na różnorodność oddziaływania pary wodnej z otoczeniem oraz wymianą wody w różnych fazach pomiędzy różnymi elementami tych układów. Zjawiska wilgotności są opisywane głównie przy wykorzystaniu wielkości:

Wilgotność bezwzględna (gęstość pary wodnej) – $d = m_v/V$, określa stosunek masy pary wodnej m_v do zajmowanej przez nią objętości V . Jest wielkością prostą pojęciowo, ale trudną do wykorzystania w praktyce pomiarowej.

Ciśnienie cząstkowe pary wodnej – p_v – ciśnienie wywierane przez cząsteczki pary wodnej (w stanie nienasyconym lub nasyconym). Ciśnienie cząstkowe nasyconej

pary wodnej – p_{vs} – ciśnienie wywierane przez cząsteczki pary wodnej będącej w stanie nasycenia – zależność tej wielkości od temperatury jest podstawową zależnością higrometryczną.

Temperatura punktu rosy T_{dp} (t_{dp} gdy wyrażana jest w °C) – jest to temperatura, do której należy schłodzić izobarycznie parę wodną (lub mieszaninę parowo-gazową), aby osiągnęła ona stan nasycenia.

Wilgotność względna oznaczana jest najczęściej symbolem **RH** (Relative Humidity) i określa w %, jaka część zawartości pary wodnej występuje w badanym powietrzu w stosunku do maksymalnej zawartości pary wodnej, która może występować w danej temperaturze w stanie nasycenia.

Oczywiście takie wielkości jak wilgotność bezwzględna, ciśnienie cząstkowe pary wodnej, temperatura punktu rosy jak i wilgotność względna mogą być określane dla pary wodnej występującej zarówno w fazie czystej jak i w mieszaninie parowo-gazowej. Są też wielkości, które z definicji mogą być zastosowane praktycznie wyłącznie do określania wilgotności mieszanin parowo-gazowych. Do takich wielkości należy wymieniona poniżej:

Zawartość wilgoci – $x = m_v/m_a$ (mixing ratio – stosunek zmieszania), określa stosunek masy pary wodnej m_v zawartej w powietrzu (mieszaninie parowo-gazowej) do masy pozostałych („suchych”) składników powietrza (mieszaniny) m_a .

Termin zawartość wilgoci jest też stosowany do określenia „udziału pary wodnej” (objętościowego lub masowego) i jest wyrażany często w jednostkach ppm (part per milion), a dla bardzo suchych gazów stosowane są też jednostki ppb (part per bilion).

Szersze omówienie wielkości fizycznych i metod pomiarowych stosowanych w dziedzinie wilgotności można znaleźć w pracach [1, 2].

Potocznie pojęcie wilgotności jest traktowane zamiennie z niektórymi pojęciami wielkości, stosowanymi do opisu zjawiska wilgotności. Wielkości tych jest kilka, a praktycznie stosowane są głównie temperatura punktu rosy/szronu i wilgotność względna. Pierwsza z nich jest wielkością podstawową, a druga – wielkością pochodną. Spośród innych wielkości warto zwrócić uwagę na wilgotność bezwzględną – gęstość pary wodnej, która jest pojęciowo bardzo prosta i oczywista, ale niewiele mówi ona o istocie zjawiska wilgotności i jest trudna do zastosowania w praktyce pomiarowej. W celu zmierzenia tej wielkości należałoby zastosować złożone procedury laboratoryjne i samą wielkość należałoby potraktować jako wielkość pochodną. Z tych powodów nie ma w zastosowaniach przyrządów wyskalowanych w jednostkach wilgotności bezwzględnej.

Druga z wielkości o istotnym znaczeniu praktycznym – wilgotność względna, ma charakter wielkości pochodnej i jej wartości odniesienia są wyliczane na podstawie pomiarów temperatury punktu rosy i temperatury tej pary.

Istotną wielkością możliwą do zastosowania przy opisie stanu pary wodnej jest jej ciśnienie cząstkowe. W stanie nasycenia, w fazie czystej pary wodnej, korelacja ciśnienia cząstkowego nasyconej pary wodnej i temperatury punktu rosy jest jednoznaczna dla temperatur dodatnich. W temperaturach ujemnych, gdzie może występować metastabilny stan wody przechłodzonej (do około -50 °C), korelacja ma charakter dwuznaczny. Dla określonego ciśnienia cząstkowego nasyconej pary wodnej wartości temperatury punktu rosy i szronu różnią się nieznacznie – w przybliżeniu o około 11 % wartości mierzonej, wyrażonej liczbowo w °C. Wybór wartości dla stanu rosy czy szronu zależy od tego, która faza utworzyła się na obiekcie wykorzystanym do detekcji stanu nasycenia pary wodnej. Takim obiektem najczęściej wykorzystywanym we współczesnych higrometrach punktu rosy są metalowe lusterka, chłodzone za pomocą elementów Peltiera.

3. Metody pomiarowe

W praktyce dla każdej z wielkości są określone właściwe metody pomiarowe – bezpośrednie lub pośrednie.

Z wymienionych wcześniej wielkości temperatura punktu rosy ma charakter wielkości podstawowej, pozostałe natomiast są wielkościami pochodnymi. Możliwy jest bezpośredni pomiar temperatury punktu rosy jako pewnej charakterystycznej temperatury, skorelowanej ze stanem nasycenia pary wodnej. Temperatura punktu rosy może być przyjęta jako wielkość podstawowa w pomiarach w dziedzinie wilgotności. Charakter tej wielkości jest bardzo bliski samej temperaturze, gdyż jest to pomiar temperatury obiektu fizycznego, zastosowanego do detekcji temperatury w momencie osiągnięcia na nim stanu nasycenia pary (lustro, generator kwarcowy). Oczywiście taki obiekt powinien być na tyle mały, aby nie zakłócał stanu układu, którego temperatura punktu rosy jest mierzona. Skala temperatury punktu rosy oparta jest na kontinuum stanów nasycenia pary wodnej, a więc podejście jest podobne jak w skali temperatury, opartej o zbiór punktów stałych. Jako wzorce podstawowe stosowane są generatory temperatury punktu rosy [3], względem których wzorcowane są wzorce wtórne – higrometry punktu rosy z chłodzonym lustrem lub rezonatorem kwarcowym. Temperatura punktu rosy jest także mierzona na drodze pośredniej – jest ona wyliczana z jednoczesnych pomiarów temperatury i wilgotności względnej.

Pozostałe wielkości to wielkości pochodne, których pomiar ma charakter pośredni. Przy pomiarach wilgotności względnej stosowane są głównie dwie metody: sorpcyjna i psychrometryczna. W metodzie sorpcyjnej wykorzystuje się zjawiska zmiany właściwości elektrycznych lub mechanicznych różnych materiałów (stałych lub ciekłych), występujących wraz ze zmianą ich wilgotności – zawartej w nich wody. Te zmiany są skorelowane z wilgotnością względną otoczenia. W przypadku właściwości elektrycznych mamy do czynienia z higrometrami z czujnikami impedancyjnymi (zazwyczaj miniaturowymi), a w przypadku mechanicznych – z higrometrami włosowymi lub membranowymi. W metodzie psychrometrycznej wykorzystywane jest chłodzenie zwilżonego czujnika przez ruch powietrza wokół niego na skutek parowania wody z czujnika. Różnica temperatur pomiędzy takim chłodzonym czujnikiem i czujnikiem suchym, mierzącym temperaturę powietrza, jest zależna od temperatury i wilgotności względnej powietrza, przy uwzględnieniu wpływu ciśnienia barometrycznego i prędkości przepływu powietrza.

4. Spójność pomiarowa i propozycja klasyfikacji serwisów w higrometrii

Międzynarodowe Biuro Miar (BIPM – *Bureau International des Poids et Mesures*) prowadzi między innymi bazę porównań kluczowych (KCDB – *Key Comparison Data Base*) i najlepszych możliwości pomiarowych (CMC – *Calibration and Measurement Capabilities*) dla narodowych instytutów metrologicznych (NMI – *National Metrological Institute*). Istotnym elementem tej bazy jest wykaz usług metrologicznych dla dziedziny wilgotności. W tabeli poniżej przedstawiona została obecnie przyjęta klasyfikacja [4] (kolumna 1) z terminologią angielską i odpowiednikami polskimi, a w kolumnie 2 – propozycje w terminologii polskiej. W dotychczasowej wersji trudno dopatrzeć się jakiegoś racjonalnego kryterium uporządkowania. Po przyjęciu następujących kryteriów (z zachowaniem uporządkowania):

DZIEDZINA -> WIELKOŚĆ -> METODA -> NIEPEWNOŚĆ

proponowana klasyfikacja serwisów dla dziedziny wilgotności będzie się przedstawiała jak w kolumnie 2.

Stan aktualny	Rozwiązanie proponowane
<p style="text-align: center;">BRANCH: HUMIDITY [DZIEDZINA: WILGOTNOŚĆ]</p> <p>3. Hygrometers [higrometry]</p> <p>3.1 Dew-point hygrometers [higrometry punktu rosy]</p> <p>3.1.1 Dew-point hygrometers [higrometry punktu rosy]</p> <p>3.2 Psychrometers [psychrometry]</p> <p>3.2.1 Psychrometers [psychrometry]</p> <p>3.3 Relative humidity sensors [czujniki wilgotności względnej]</p> <p>3.3.1 Relative humidity sensors [czujniki wilgotności względnej]</p> <p>3.4 Other hygrometers [inne higrometry]</p> <p>3.4.1 Other hygrometers [inne higrometry]</p> <p>4. Dynamic generators [generatory dynamiczne]</p> <p>4.1 Dew-point generators [generatory punktu rosy]</p> <p>4.1.1 Dew-point generators [generatory punktu rosy]</p> <p>4.2 Relative humidity generators [generatory wilgotności względnej]</p> <p>4.2.1 Relative humidity generators [generatory wilgotności względnej]</p> <p>4.3 Flow mixing [z mieszaniem strumieni]</p> <p>4.3.1 Flow mixing [z mieszaniem strumieni]</p> <p>4.4 Permeation tube, diffusion tube [rurka permeacyjna, rurka dyfuzyjna]</p> <p>4.4.1 Permeation tube, diffusion tube [rurka permeacyjna, rurka dyfuzyjna]</p> <p>5. Static generators [generatory statyczne]</p> <p>5.1 Salt solutions [saturated, unsaturated] [roztwory soli (nasycone, nienasycone)]</p> <p>5.1.1 Salt solutions (saturated, unsaturated) [roztwory soli (nasycone, nienasycone)]</p> <p>5.2 Reference gases [gazowe materiały odniesienia]</p> <p>5.2.1 Reference gases [gazowe materiały odniesienia]</p>	<p style="text-align: center;">DZIEDZINA: WILGOTNOŚĆ</p> <p>3. Temperatura punktu rosy</p> <p>3.1 Generatory temperatury punktu rosy</p> <p>3.1.2 Wzorcowe generatory temperatury punktu rosy</p> <p>3.1.3 Generatory z mieszaniem strumieni</p> <p>3.1.4 Rurki permeacyjne, rurki dyfuzyjne</p> <p>3.2 Higrometry punktu rosy</p> <p>3.3 Inne higrometry punktu rosy</p> <p>4. Wilgotność względna</p> <p>4.1 Generatory wilgotności względnej</p> <p>4.1.1 Generatory dynamiczne dwu-ciśnieniowe</p> <p>4.1.2 Generatory dynamiczne dwu-temperaturowe</p> <p>4.2.3 Generatory statyczne – roztwory soli nasycone i nienasycone.</p> <p>4.2 Higrometry wilgotności względnej</p> <p>4.3 Psychrometry</p> <p>4.3.1 Psychrometry Assmanna</p> <p>4.3.2 Psychrometry elektroniczne</p> <p>4.4 Inne higrometry wilgotności względnej</p> <p>5. Zawartość wilgoci</p> <p>5.1 Higrometry grawimetryczne</p> <p>5.2 Gazowe materiały odniesienia</p>

5. Podsumowanie

Przedstawione spostrzeżenia dla wilgotności powietrza dotyczą także innych dziedzin pomiarowych, jak np. lepkości, gdzie wielkościami są lepkość dynamiczna lub kinematyczna. Nie można więc mówić zarówno o pomiarach wilgotności jak też lepkości. Spójność pomiarowa nie dotyczy dziedziny, ale każdej z wielkości z osobna i w takim kontekście powinna być rozważana.

Literatura

1. Guide to the Measurement of Humidity, The Institute of Measurement and Control, London 1996.
2. Flakiewicz K.: *Wilgotność powietrza i gazów. Pomiary i wzorcowanie*. Biuletyn Głównego Urzędu Miar, Nr 4(15) 2009.
3. Flakiewicz K.: *Implementation of the dew-point temperature generator as the primary standard in GUM*, Papers and Abstracts from the Third International Symposium on Humidity & Moisture, vol.1, 62-67, April 1998, NPL, Teddington, UK.
4. http://kcdb.bipm.org/AppendixC/T/T_services.pdf

Wytwarzanie i metody pomiarów wzorcowych pól magnetycznych

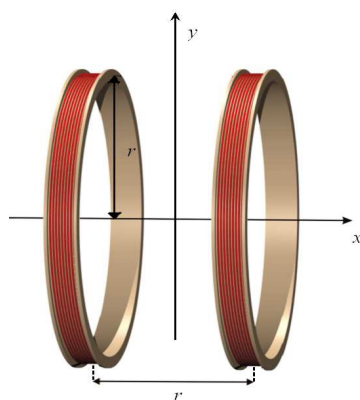
Katarzyna Falińska

1. Wytwarzanie wzorcowego pola magnetycznego

W wielu sytuacjach istotne jest określanie wartości natężeń pól przemiennych, bądź stałych pól magnetycznych. Przykład mogą stanowić pomiary magnetyzacji szczątkowej (np. obiektów będącymi elementami składowymi części wykorzystywanych do budowy samolotów). Dlatego parametry pól powinny być określane i kontrolowane a narzędzia wykorzystywane do ich pomiarów – wzorcowane, co wymaga wytworzenia wzorcowego pola magnetycznego.

1.1. Cewki Helmholtza

Najpowszechniej używanym wzorcem wartości indukcji pola magnetycznego stałego i przemiennego do 10 MHz [1] są cewki Helmholtza. Jest to układ dwóch jednakowych cewek cylindrycznych, osadzonych współosiowo w ściśle określonej odległości, co schematycznie przedstawia rys. 1. Cewki znajdują się w odległości równej promieniowi cewki r , co pozwala uzyskać jednorodne pole magnetyczne w stosunkowo dużej objętości, np. w punkcie odległym o $\frac{1}{4} r$ od środka układu wzdłuż osi x odchylenie od jednorodności w stosunku do wartości natężenia pola magnetycznego w środkowym punkcie układu jest mniejsze od 0,5 %, natomiast wzdłuż osi y jest mniejsze od 0,75 % [2].



Rys. 1. Schemat cewki Helmholtza

W przypadku cewek wielowarstwowych ważne jest również zachowanie odpowiedniego stosunku szerokości do wysokości w przekroju poprzecznym uzwojeń cewki, który powinien wynosić ok. 0,93 [2].

Cewki połączone są szeregowo tak, że pola magnetyczne każdej z nich dodają się. Napięcie mierzone na szeregowo podłączonym dokładnym,iskoindukcyjnym rezystorze

jest proporcjonalne do natężenia prądu płynącego przez uzwojenia cewek. Wartość indukcji pola magnetycznego wytwarzanego przez cewki wyznacza się ze wzoru:

$$B = \mu_0 IK \quad (1)$$

gdzie: μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni, I – natężenie prądu płynącego w uzwojeniach cewek ($I = U/R$, U – napięcie na rezystorze wzorcowym, R – rezystancja rezystora), K – stała cewki. Stała cewek Helmholtza zależy od wymiarów geometrycznych cewek, zgodnie z wyrażeniem:

$$K = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{z}{r} \quad (2)$$

gdzie: z – liczba zwojów cewki, r – promień cewki.

Dokładność pola magnetycznego wytwarzanego przez cewki Helmholtza jest przede wszystkim zależna od dokładności z jaką zostały one skonstruowane oraz od stabilności prądu płynącego w poszczególnych cewkach.

1.2. Górne ograniczenie częstotliwości

Zgodnie z równaniami Maxwella przemienne pole magnetyczne (wytwarzane przez cewki Helmholtza) generuje kolejno pole elektryczne, magnetyczne itd., w tej samej przestrzeni gdzie pożądana jest jednorodność pola magnetycznego, w którym są wzorcowane mierniki. Wielkość tych efektów wzrasta przy wzroście częstotliwości. Jednakże wartość częstotliwości, przy której te indukowane pola nie mogą być zaniedbywane, jest wyższa od częstotliwości rezonansu własnego cewek (która stanowi ograniczenie maksymalnej częstotliwości wytwarzanego przez cewki pola).

Częstotliwość rezonansu własnego cewek określona jest równaniem:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

gdzie: L – indukcyjność cewki, C – pojemność własna cewki.

W praktyce, dopuszczalna maksymalna częstotliwość jest niższa niż częstotliwość, przy której zachodzi rezonans własny cewek. Dla częstotliwości około dwa rzędy wielkości mniejszej od częstotliwości rezonansu własnego, przy danej mocy generatora, natężenie prądu płynącego przez cewki zaczyna się zmniejszać (gdyż wraz ze wzrostem częstotliwości dostarczanego prądu rośnie impedancja cewek). Częstotliwość, przy której moc generatora musi być podwojona, aby utrzymać zadane natężenie prądu, często nazywana jest częstotliwością graniczną.

Wartość górnej granicy częstotliwości pola magnetycznego wytwarzanego w cewkach Helmholtza może być zwiększona czterokrotnie poprzez połączenie równoległe cewek. Wówczas w obydwu cewkach prądy muszą być sobie równe co do wartości i zgodne w fazie. W celu spełnienia tego warunku potrzebny jest generator z dwoma niezależnymi wyjściami umożliwiającymi dopasowywanie wartości i fazy prądu.

1.3. Wpływ zewnętrznych pól magnetycznych

W celu zminimalizowania wartości tła związanego ze stałym ziemskim polem magnetycznym, wzorcowe cewki Helmholtza ustawia się tak, by linie pola magnetycznego wytwa-

rganego przez nie były prostopadłe do linii zewnętrznego pola magnetycznego (wówczas jednoosiowa sonda miernika jest znacznie mniej podatna na składową indukcji magnetycznej pola ziemskiego).

Ponadto wzorcowanie mierników indukcji pola magnetycznego (zarówno stałego jak i przemiennego) można wykonywać w komorze bezodbiciowej – której ściany pokryte są ferrytowym absorbentem fal elektromagnetycznych – dzięki czemu zmniejszy się wartość tła związana z zewnętrznymi polami magnetycznymi (stałym i przemiennym). Wykonywanie pomiarów magnetycznych w komorze bezodbiciowej wymaga spełnienia warunku zachowania odpowiedniej odległości cewek Helmholtza od ścian, sufitu oraz podłogi komory, które zbudowane są z materiałów ferromagnetycznych. Zalecany najmniejszy wymiar takiej ekranowanej komory powinien być większy niż $6,7r$. Ten wymiar może być również używany do określania, jak daleko od cewek Helmholtza mogą się znajdować duże metalowe obiekty, aby nie zaburzały wzorcowego pola magnetycznego [3].

Inną metodą zmniejszania wpływu ziemskiego pola magnetycznego (w obszarze wytworzonego wzorcowego pola magnetycznego) jest zastosowanie tzw. cewki Braunbeck'a. Jest to układ trzech trójosiowych par cewek Helmholtza wzajemnie prostopadłych. Natężenie prądu dostarczanego do poszczególnych cewek jest dobierane tak, by wypadkowe pole magnetyczne skompensowało wartość ziemskiego pola magnetycznego. Wewnątrz danego układu umieszcza się cewki Helmholtza wytwarzające wzorcowe pole magnetyczne. Z takiego układu korzystają m.in. w PTB (*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*) i NPL (*National Physical Laboratory*).

1.4. Cewka Garrett'a

Do wytwarzania wzorcowych pól magnetycznych może również być wykorzystywana cewka Garrett'a. Stanowią ją dwie pary cewek Helmholtza, na ogół o różnej liczbie zwojów nawinięte na karkas. Cewka Garrett'a, jaką dysponują w ČMI (*Czech Metrology Institute*), nawinięta na ceramiczny karkas, pokazana jest na rys. 2.



Rys. 2. Cewka Garrett'a

Cewka ta, może wytwarzać pola magnetyczne do wartości indukcji magnetycznej rzędu kilkuset mT, zarówno stałe jak i przemiennie (do wartości częstotliwości rzędu kilkudziesięciu kHz).

2. Pomiar pola magnetycznego

Do badania pól magnetycznych używane są magnetometry – mierniki wszelkiego rodzaju służące do pomiaru natężenia (indukcji) pola magnetycznego i/lub jego kierunku. Jednym z najbardziej popularnych mierników jest magnetometr z czujnikiem Halla. Powszechnie używane są również mierniki cewkowe oraz miernik oparty na zjawisku NMR. Magnetometry NMR mogą mierzyć wartości indukcji pola magnetycznego w bardzo szerokim zakresie, od nT do kilkunastu T, w zależności od sondy w jaką są wyposażone [4, 5]. W ostatnich latach pojawiły się atomowe magnetometry np. typu SERF (ang. *Spin-Exchange-Relaxation-Free*) oparte również na zjawisku NMR. Kolejne przykłady mierników stanowią: magnetometry transduktorowe (typu fluxgate) czy SQUID (*superconducting quantum interference device*).

Inną odmianę czujników pola magnetycznego stanowią czujniki magnetorezystancyjne, np. oparte na anizotropowym zjawisku magnetorezystancyjnym AMR (ang. *Anisotropy Magnetoresistance*) lub czujniki magnetorezystancyjne GMR (ang. *Gigant Magnetoresistance*). Kolejny rodzaj to czujniki magnetoptyczne. Umożliwiają one pomiar indukcji pola magnetycznego w zakresie zbliżonym do najczulszych metod SQUID-owych, jednakże bez konieczności stosowania kriostatów.

3. Podsumowanie

Cewki Helmholtza stanowią powszechnie używany, w wielu NMI (*National Metrology Institute*), wzorzec pola magnetycznego pozwalający wytworzyć stosunkowo jednorodne pole magnetyczne. Ich modyfikacja – cewki Braunbeck'a – są jednym z efektywniejszych sposobów kompensowania pola ziemskiego w przestrzeni wytwarzanego wzorcowego pola.

Literatura

1. Savukov I. M. and Romalis M. V.: *NMR detection with an atomic magnetometer*, Physical Review Letters, PRL 94, 123001 (2005).
2. Nałęcz M., Jaworski J.: *Miernictwo magnetyczne*, WNT 1968.
3. IEEE Electromagnetic Compatibility Society IEEE Standard for Calibration of Electromagnetic Field Sensors and Probes, Excluding Antennas, from 9 kHz to 40 GHz, New York 2005.
4. Boero G., Schlaefli D.: *Modelling an NMR probe for magnetometry*, Swiss Federal Institute of Technology.

Wymagania Unii Europejskiej w zakresie metrologii prawnej

Piotr Nowakowski, Izabela Klich

1. Wprowadzenie

Rzeczypospolita Polska stała się pełnoprawnym członkiem Unii Europejskiej dnia 1 maja 2004 r. Rozpoczęty wcześniej proces dostosowywania państwa do wymogów i kryteriów przewidzianych dla państw członkowskich Unii Europejskiej nabrał większego tempa. Miało to znaczący wpływ na przeobrażanie się polskiej gospodarki. Uruchomiono cały mechanizm zmian, reform systemowych zarówno w sferze społecznej, politycznej jak i gospodarczej.

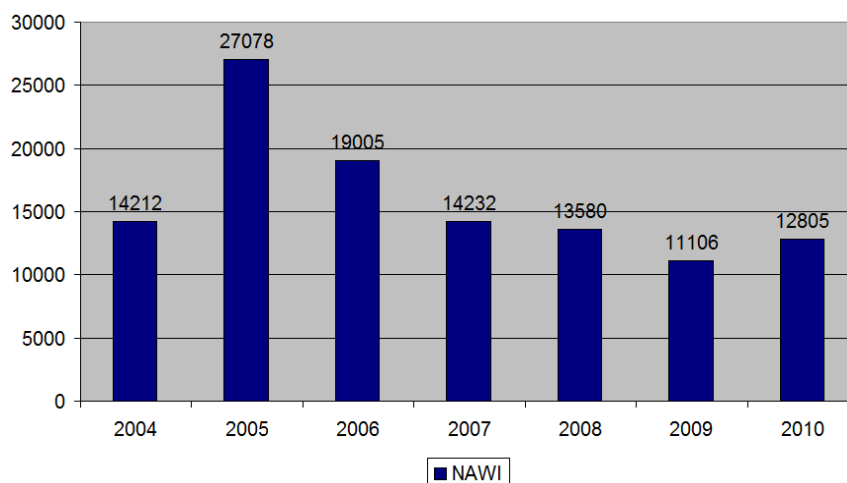
Obowiązek wdrożenia oceny zgodności wiąże się z przejściem w Państwach Członkowskich Unii Europejskiej w 1985 r. od dyrektyw „starego podejścia” do dyrektyw „nowego podejścia” oraz z opracowaniem w latach 1990 – 1993 zasad oceny modułowej wyrobów. Ocena zgodności jest spójnym systemem postępowania, który został uregulowany w Polsce w ustawie z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności.

Realizacja zadań ustawowych przez terenową administrację miar polegała od lat przede wszystkim na wykonywaniu czynności związanych z metrologią prawną, szczególnie w formie legalizacji przyrządów pomiarowych. Od momentu wejścia Polski do Unii Europejskiej wprowadzenie na rynek przyrządu pomiarowego objętego dyrektywą MID po 30 października 2006 r. może mieć miejsce jedynie wtedy, gdy wyrób spełnia wymagania wszystkich dyrektyw odnoszących się do wyrobu oraz gdy ocena zgodności została przeprowadzona zgodnie ze wszystkimi stosownymi dyrektywami. Zgodnie z obowiązującym prawem europejskim przyrządy pomiarowe wprowadzane na rynek wspólnoty podlegają ocenie zgodności z wymaganiami zawartymi w dyrektywach nowego podejścia nr 2009/23/WE (NAWI – *Non-automatic Weighing Instruments*) obowiązującej od 1 maja 2004 r. oraz nr 2004/22/WE (MID – *Measuring Instruments Directive*) obowiązującej od 31 października 2006 r. Według prawa europejskiego ocenę zgodności wyrobu w zakresie metrologii prawnej może wykonywać jednostka notyfikowana.

2. Dyrektywa NAWI dotycząca wag nieautomatycznych

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/23/WE w sprawie wag nieautomatycznych obowiązuje w Polsce bez okresu przejściowego od 1 maja 2004 r. Ocenę zgodności wag nieautomatycznych z wymaganiami zasadniczymi określonymi w dyrektywie NAWI prowadzi tylko administracja miar według procedur oceny zgodności opisanych w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 11 grudnia 2003 r. i określonych w zakresach notyfikacji (Dz. U. z 2004 r., Nr 4, poz. 23).

Ilość wag nieautomatycznych poddanych ocenie zgodności w latach 2004 – 2010 przez Okręgowe Urzędy Miar przedstawia wykres na rys. 1.



Rys. 1. Liczba ocen zgodności wg NAWI

Na polskim rynku zaobserwować można praktycznie stałe zapotrzebowanie na usługi świadczone w zakresie dyrektywy NAWI, za wyjątkiem początkowego okresu stosowania tej dyrektywy.

3. Dyrektywa MID dotycząca przyrządów pomiarowych

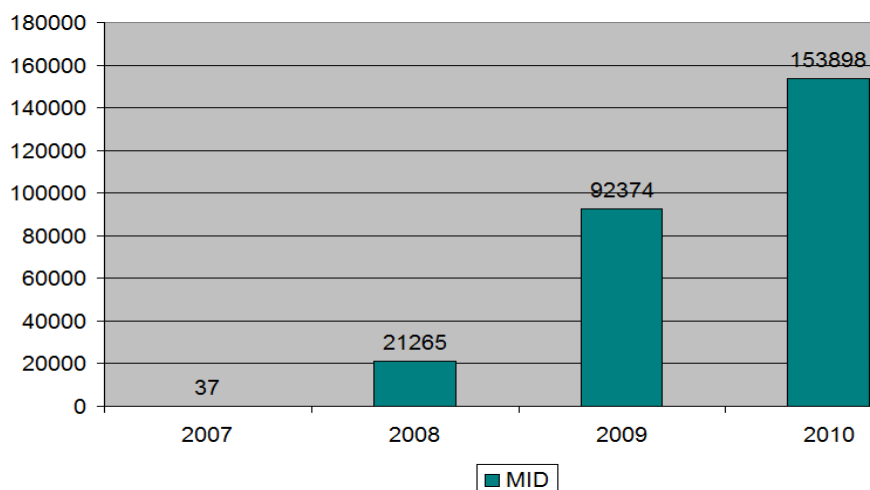
Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/22/WE w sprawie przyrządów pomiarowych obowiązuje w Polsce od 31 października 2006 r. Nakłada na państwa członkowskie obowiązek wydania własnych przepisów wprowadzających treść dyrektywy. W Polsce aktem prawnym wdrażającym dyrektywę MID jest Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla przyrządów pomiarowych.

Po 2016 r. ocena zgodności wg dyrektywy MID całkowicie zastąpi legalizację pierwotną. Do tego czasu trwa okres przejściowy, w którym obowiązują jednocześnie stare i nowe zasady wprowadzania przyrządów pomiarowych do obrotu lub użytkowania – stare wobec przyrządów pomiarowych posiadających ważną decyzję zatwierdzenia typu, wydaną przed 30 października 2006 r. i nowe – wobec przyrządów pomiarowych poddanych ocenie zgodności od 30 października 2006 r. Obecnie legalizacja pierwotna występuje w przypadku przyrządów pomiarowych określonych w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 27 grudnia 2007 r. w sprawie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz zakresu tej kontroli oraz w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 2 czerwca 2010 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz zakresu tej kontroli i obejmuje m.in. zbiorniki pomiarowe, przyrządy do pomiaru prędkości, manometry do opon samochodowych, gęstościomierze zbożowe.

Ilość przyrządów pomiarowych poddanych ocenie zgodności w latach 2007 – 2010 przez Okręgowe Urzędy Miar przedstawia wykres na rys. 2.

W czasie 4. lat okresu przejściowego dla dyrektywy MID wystąpił znaczny przyrost wykonanych usług w zakresie oceny zgodności.

Oceną zgodności przyrządów pomiarowych według dyrektywy MID oprócz administracji miar zajmuje się dwanaście komercyjnych jednostek notyfikowanych. Zakres notyfikacji z reguły dotyczy jednego rodzaju przyrządu pomiarowego w zakresie co najwyżej dwóch modułów.



Rys. 2. Liczba ocen zgodności wg MID

4. Podsumowanie

Analizując stan notyfikacji według dyrektyw NAWI i MID można stwierdzić, że Polska dobrze wywiązuje się ze swoich obowiązków w tym zakresie.

Zapotrzebowanie rodzimych producentów na ocenę zgodności według dyrektywy NAWI jest zaspokajane, a ilość jednostek notyfikowanych jest wystarczająca.

W przypadku oceny zgodności według dyrektywy MID można stwierdzić, że zapotrzebowanie na legalizację ponowną przyrządów pomiarowych produkowanych masowo takich jak: liczniki energii elektrycznej, wodomierze, ciepłomierze czy gazomierze będzie w przyszłości znikome, gdyż producent dąży do produkcji przyrządu jednorazowego użytku, którego sprawność metrologiczna będzie określona w czasie. Przyrządy pomiarowe wielokrotnego użytku takie jak wagi, odważniki, odmierzacze paliw, taksometry pozostaną w legalizacji ponownej, jednak zapotrzebowanie na te usługi będzie malało.

Jednocześnie można wywnioskować, że dla przyrządów pomiarowych produkowanych masowo ocena jednostkowa wg modułów F i F1 będzie malała na korzyść deklaracji zgodności z typem na podstawie zapewnienia jakości procesu produkcyjnego wg modułów D i D1.

Analiza wyników oraz źródła niepewności przy wzorcowaniu wzorców spektrofotometrycznych

Agnieszka Chrząstek, Justyna Wtorkiewicz

1. Wstęp

Laboratoria mają coraz większą świadomość konieczności sprawdzeń przyrządów pomiarowych. Znajduje to odzwierciedlenie w zainteresowaniu laboratoriów wzorcowaniem przyrządów pomiarowych, w tym także spektrofotometrów i wzorców spektrofotometrycznych. Wzorcowanie wzorców spektrofotometrycznych zwanych także filtrami wzorcowymi, wykonuje się metodą bezpośredniego pomiaru. Każdy filtr wzorcowy stosowany w spektrofotometrii ma wyznaczoną wartość widmowego współczynnika przepuszczania $\tau(\lambda)$ lub wartość gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania $D(\lambda)$ przy określonych długościach fal. Wartości te wraz z wartościami niepewności rozszerzonej i współczynnikiem rozszerzenia k , podane są w świadectwie wzorcowania filtrów.

2. Obiekt porównania

2.1 Filtry neutralne

Zestaw filtrów neutralnych tworzą płytki o różnym stopniu zaczernienia, a tym samym o różnych wartościach widmowego współczynnika przepuszczania. W obszarze nadfioletu filtry neutralne mają dość wyraźną krawędź odcinającą, co ogranicza ich zastosowanie do zakresu widzialnego i bliskiej podczerwieni.

2.2 Filtry napyłane

Filtry napyłane wykonuje się poprzez napylenie na płasko-równoległą płytkę kwarcową warstwy metalu. Zestaw filtrów napyłanych tworzą płytki o różnych grubościach warstwy napyłanej, a więc i o różnych wartościach współczynnika przepuszczania. Filtry napyłane mogą być stosowane w zakresie VIS oraz UV.



Rys. 1. Filtry neutralne, napyłane i ciekłe PDC

2.3 Filtry ciekłe

Przezroczyste szczelnie zamknięte pojemniki (kuwety) zawierają roztwory dwuchromianu potasu ($K_2Cr_2O_7$) o różnych stężeniach. Krzywe widmowego współczynnika przepuszczania w funkcji długości fali wykazują charakterystyczne dla dwuchromianu potasu ekstrema przy długości fal ok.: 235 nm, 257 nm, 313 nm i 350 nm. Daje to ograniczony zakres stosowania tych filtrów w porównaniu z filtrami neutralnymi i napyłanymi.

3. Źródła błędów

Wyznaczając widmowy współczynnik przepuszczania lub gęstość optyczną widmowego współczynnika przepuszczania musimy określić czynniki jakie wpływają na wynik pomiaru. Błędy pomiarów mogą pochodzić z czterech źródeł: od przyrządu pomiarowego, wzorcowanego obiektu, człowieka oraz warunków środowiskowych. Przy wzorcowaniu wzorców spektrofotometrycznych jednym z głównych źródeł jest sam spektrofotometr, na którym wykonuje się pomiary. Najogólniej spektrofotometr składa się z układu optycznego oraz układów detekcji i przetwarzania sygnału. Układ optyczny może generować takie błędy jak przesunięcie wiązki świetlnej, błędy skali długości fali, błąd spowodowany przez światło rozproszone. Układ odbiorczy i układ przetwarzający sygnał wyjściowy z fotoodbiornika może być źródłem błędów takich jak nieliniowość i niestabilność odbiornika. Należy również sam obiekt wzorcowania traktować jako źródło błędów. Błąd może być spowodowany np. niejednorodnością materiału, z którego wykonano filtr, odstępstwem od równoległości płaszczyzn i płaskości filtra. Także osoba wykonująca pomiar może spowodować błędy. Z kolei zmienne warunki środowiskowe mogą powodować zmiany energii źródła światła w spektrofotometrze, czułości fotoodbiornika oraz własności optycznych wzorcowanego filtra.

4. Wyniki pomiarów

Tabela 1. Zestawianie przykładowych wyników pomiarów dla neutralnych filtrów wzorcowych G-343-IV

Długość fali λ (nm)	Obiekt porównań	OUM Łódź	GUM	OUM Łódź	GUM
		$D_\tau(\lambda)$		Niepewność rozszerzona	
436	G-343-I	0,9156	0,9155	0,0047	0,0041
800		0,7713	0,7708		
436	G-343-IV	0,1731	0,1727	0,0034	0,0027
800		0,1397	0,1393		

Tabela 2. Zestawianie przykładowych wyników pomiarów dla napyłanych filtrów wzorcowych KCC-02 nr 84

Długość fali λ (nm)	Obiekt porównań	OUM Łódź	PTB	GUM	OUM Łódź	PTB	GUM
		$D_{\tau}(\lambda)$			Niepewność rozszerzona		
900	KCC-02 nr 84 filtr C2	0,0843	0,0860	-	0,0034	0,0028	-
340		0,2120	0,2138	0,2154	0,0034	0,0032	0,0076
275		0,2381	0,2383	0,2398	0,0037	0,0032	
235		0,3238	0,3250	0,3261	0,0037	0,0035	

Tabela 3. Zestawianie przykładowych wyników pomiarów dla ciekłych filtrów wzorcowych PDC

Długość fali λ (nm)	Obiekt porównań	OUM Łódź	STARNA	GUM	OUM Łódź	STARNA	GUM
		$D_{\tau}(\lambda)$			Niepewność rozszerzona		
350	PDC 20 mg/l	0,2530	0,2528	0,2528	0,0034	0,0037	0,0029
313		0,1383	0,1373	0,1384	0,0037		
257		0,3344	0,3336	0,3344	0,0037		
235		0,3013	0,2995	0,3008	0,0037		

5. Podsumowanie

Porównując wyniki uzyskane w czterech niezależnych laboratoriach wzorcujących stwierdzono, że uzyskane wartości widmowego współczynnika przepuszczania i/lub gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania różnią się od siebie nieznacznie i są mniejsze od wartości niepewności uzyskanych przez każde laboratorium. W przypadku niepewności rozszerzonych, każde laboratorium wzorcujące samo określa źródła błędów, które mają wpływ na wynik pomiarów. Oceny niepewności w poszczególnych laboratoriach wykazują często dość istotne różnice, które powinny być w miarę upływu czasu zmniejszane.

Wzorce odniesienia jednostki objętości gazu ciekłego propan-butan

Paweł Sikorski

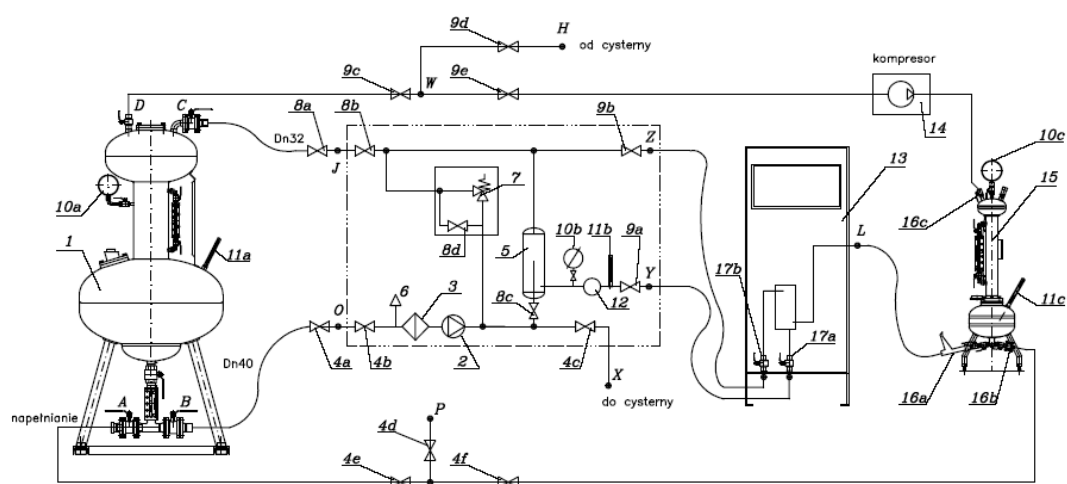
1. Wstęp

Działania Pracowni Pomiarów Przepływów Wydziału Termodynamiki Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi, której zadaniem między innymi jest wyznaczanie charakterystyk metrologicznych przyrządów pomiarowych do pomiarów objętości i masy przepływu gazu ciekłego propan-butan, są przykładem szerokiej gamy oferowanych usług w tym zakresie. Wykonywana prawna kontrola metrologiczna, ocena zgodności, wzorcowania liczników i instalacji do gazu ciekłego propan-butan oraz ich wzorców odniesienia zaowocowały zebraniem pierwszych doświadczeń w tym zakresie.

2. Charakterystyka stanowiska pomiarowego do badania instalacji do gazu ciekłego propan-butan w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi

2.1. Wzorce odniesienia, przyrządy pomiarowe oraz elementy stanowiska

Posiadane przez Okręgowy Urząd Miar w Łodzi wzorce odniesienia dotychczas stosowane były przy badaniu liczników i instalacji pomiarowych na stanowiskach pomiarowych będących własnością producentów tych instalacji. Na bazie zebranych doświadczeń powstało stanowisko pomiarowe w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi. Schemat stanowiska do badań instalacji do gazu ciekłego propan-butan przedstawia rys. 1.



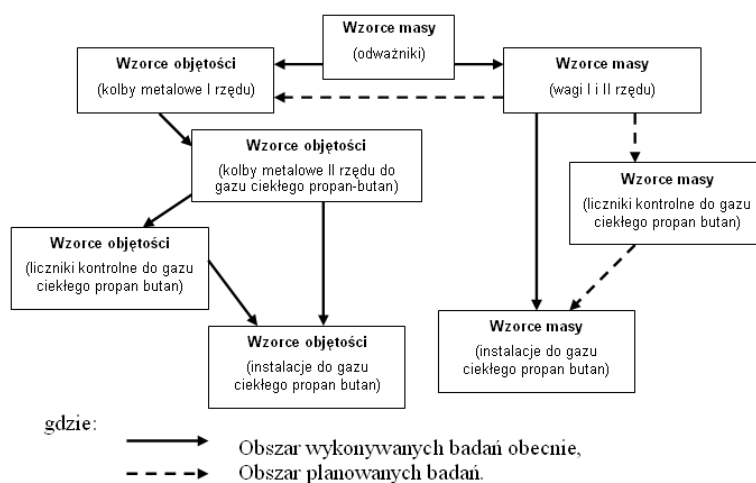
Rys. 1. Schemat stanowiska do badań instalacji do gazu ciekłego propan-butan

2.2. Zachowanie spójności pomiarowej przy badaniach instalacji do gazu ciekłego propan-butan

Badając przyrządy pomiarowe do pomiarów gazu ciekłego propan-butan Okręgowy Urząd Miar w Łodzi zachowuje spójność pomiarową przez zastosowanie kolb metalowych II rzędu do gazu ciekłego propan-butan o pojemnościach 20 dm³ i 500 dm³ oraz licznika kontrolnego do gazu ciekłego propan-butan o zakresie strumieni (5 ÷ 60) dm³/min. Schemat zachowania spójności pomiarowej przedstawiono na rys. 2.

Wzorce objętości, kolby metalowe I rzędu wzorcowane są metodą wagową w Obwodowym Urzędzie Miar w Lesznie i są one wzorcami odniesienia dla laboratorium w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi przy wzorcowaniu kolb metalowych II rzędu do gazu ciekłego propan-butan metodą objętościową.

Badania instalacji przeznaczonych do ciągłego i dynamicznego pomiaru objętości gazu ciekłego propan-butan dokonuje się przy użyciu mieszaniny tego gazu o gęstościach (0,539 ÷ 0,569) g/cm³ w temperaturze rzeczywistej lub w temperaturze odniesienia 15 °C, w zależności od rodzaju dokumentów wprowadzających daną instalację do obrotu lub użytkowania.



Rys. 2. Schemat zachowania spójności pomiarowej przy badaniach instalacji do gazu ciekłego propan-butan

Podstawowe problemy napotkane podczas przeprowadzanych badań to:

- zmienne warunki środowiskowe: badania wykonywane są w miejscu użytkowania instalacji w różnych porach roku,
- zmienne temperatury fazy ciekłej i gazowej gazu ciekłego propan-butan,
- zmienny skład mieszanki propan-butan,
- występowanie azotu w fazie gazowej gazu ciekłego propan-butan,
- odmienne konstrukcje badanych instalacji.

Głównym celem planowanych badań jest walidacja obecnie stosowanych metod pomiarowych oraz ich ewentualna modyfikacja. Będzie to możliwe poprzez jednoczesne wykorzystanie metody masowej i objętościowej w wyznaczeniu wartości poprawnej ilości gazu ciekłego propan-butan, która przepływa przez badaną instalację lub licznik kontrolny.

Dopuszczalne granice niepewności wyznaczania parametrów przepływu przy szeregowym sprawdzaniu wodomierzy

Wiesław Gosk

1. Wstęp

Szeregowe sprawdzanie wodomierzy było i jest powszechnie spotykaną praktyką stosowaną podczas legalizacji tych przyrządów. Po wprowadzeniu dyrektywy MID [1] i oceny zgodności wodomierzy praktyka ta została utrzymana. Pojawiły się jednak nowe aspekty: wprowadzono obowiązkowo sprawdzanie wodomierzy do wody podgrzanej wodą ciepłą i szerokie granice nastaw ciśnienia przepływu. W referacie przeanalizowano to, czy można i pod jakimi warunkami prowadzić sprawdzanie szeregowo zamontowanych wodomierzy w tak określonych warunkach przepływu.

2. Wymagania dotyczące parametrów przepływu stosowane podczas sprawdzania wodomierzy w ramach legalizacji i oceny zgodności

W tabeli 1 przedstawiono wartości temperatury pomiarowej t_N i tolerancje jej nastaw, granice nastaw ciśnienia pomiarowego p_N , dopuszczalne niepewności rozszerzone pomiaru tych parametrów i dopuszczalną niepewność rozszerzoną wyznaczania objętości przepływu $W(V_c)_{\text{dop}}$.

Tabela 1. Wymagania dotyczące temperatury, ciśnienia i objętości przepływu [2]

Q_N	t_N	$\Delta t_{N1\text{dop}}$	$\Delta t_{N2\text{dop}}$	$U(t)_{\text{dop}}$	p_N	$W(p)_{\text{dop}}$	E_N	$W(V_c)_{\text{dop}} = 1/5E_N$
Q(3)	50 °C	5 °C	5 °C	1 °C	mAP ÷ MAP	5 %	3 %	0,6 %
Q(2)	50 °C	5 °C	5 °C	1 °C	mAP ÷ MAP	5 %	3 %	0,6 %
Q(1)	50 °C	5 °C	5 °C	1 °C	mAP ÷ MAP	5 %	5 %	1,0 %

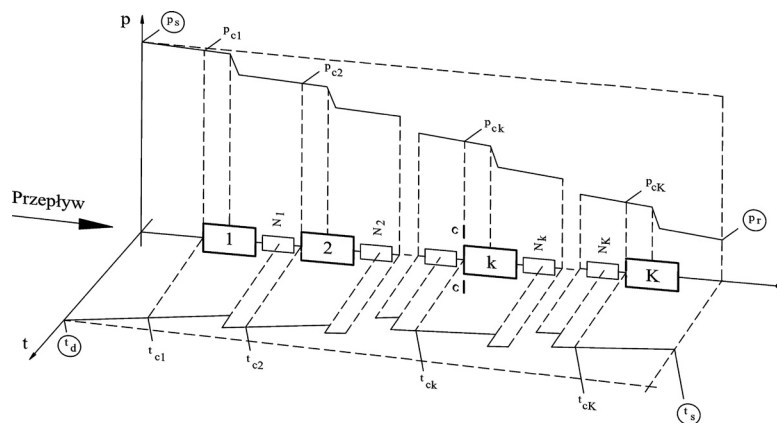
Parametry wyspecyfikowano w zależności od strumieni pomiarowych odpowiadających: nominalnemu Q(3), pośredniemu Q(2) i minimalnemu Q(1) sprawdzanych wodomierzy.

3. Parametry przepływu przy szeregowym sprawdzaniu wodomierzy

3.1. Rozkład ciśnienia i temperatury przepływu w odcinku pomiarowym

Na rys. 1 przedstawiono przykładowe rozkłady temperatury i ciśnienia przepływu w odcinku pomiarowym złożonym z K szeregowo zamontowanych wodomierzy i wypo-

szonym w K nagrzewnic. W stanowiskach pomiarowych do sprawdzania wodomierzy wodą ciepłą, z podgrzewanym odcinkiem pomiarowym, możliwy jest, z przyczyn technicznych, każdy – w granicach dopuszczalnych nastaw temperatury – rozkład $t(l)$ temperatury przepływu. W rozkładzie $p(l)$ ciśnien przepływu ze względu na straty ciśnienia, $p_{ck} > p_{c(k+1)}$ ($k = 1, 2, \dots, K-1$), ale w przekroju odniesienia k -tego obiektu możliwa jest każda jego wartość z zakresu dopuszczalnych nastaw.



Rys. 1. Rozkład temperatury i ciśnienia przepływu w odcinku pomiarowym

3.2. Aproksymacja rozkładów ciśnienia i temperatury – rozkłady brzegowe

Przedstawione w tabeli 1 wymagania dotyczące parametrów przepływu odnoszą się do każdego z szeregowo zamontowanych obiektów z osobna. Wartości tych parametrów dla k -tego obiektu powinny być mierzone w jego przekroju odniesienia „c-c” (rys. 1). Przeprowadzenie pomiarów ciśnienia i temperatury przepływu w przekroju odniesienia każdego obiektu wiąże się z licznymi trudnościami natury praktycznej. Dlatego w miejsce pomiarów indywidualnych wartości $t_{c1}, \dots, t_{ck}, \dots, t_{cK}$ i $p_{c1}, \dots, p_{ck}, \dots, p_{cK}$ przeprowadza się pomiary temperatur t_d i t_s i ciśnień p_s i p_r odpowiednio na dopływie i odpływie odcinka pomiarowego. Powstaje wówczas problem, jak w oparciu o zmierzone t_d i t_s oraz p_s i p_r aproksymować wartości t_{ck} i p_{ck} z wystarczającą, dla rozpatrywanych celów, dokładnością.

Do dalszej analizy przyjęto model aproksymacji t_{ck} wartością t_{sr} określoną jako:

$$t_{sr} = \frac{t_d + t_s}{2} \quad (1)$$

Podobnie w przypadku ciśnień przepływu przyjęto aproksymację p_{ck} wartością p_{sr} :

$$p_{sr} = \frac{p_s + p_r}{2} \quad (2)$$

Parametry przepływu t_{ck} i p_{ck} dla przyjętych modeli (1) i (2) aproksymacji określa się jako:

$$t_{ck} = t_{sr} + e_a(t_{ck}) \quad p_{ck} = p_{sr} + e_a(p_{ck}) \quad (3)$$

gdzie:

$e_a(t_{ck})$ – błąd aproksymacji temperatury t_{ck} w modelu (1),

$e_a(p_{ck})$ – błąd aproksymacji ciśnienia p_{ck} w modelu (2).

Niech $t_{e1} = t_d$, $t_{eK} = t_s$, $p_{e1} = p_s$, $p_{eK} = p_r$, a rozkłady $t(l)$ i $p(l)$ będą takie, że:

$$|t_{e1} - t_{eK}| = \Delta t_{N1dop} + \Delta t_{N2dop} \quad (4)$$

$$p_{e1} = MAP, \quad p_{eK} = mAP_1 \quad (5)$$

Wówczas w oparciu o (3), dla dopuszczalnych nastaw ciśnienia i temperatury wg tabeli 1, błędy aproksymacji t_{ck} i p_{ck} będą zawarte odpowiednio w przedziałach:

$$e_a(t_{ck}) \in [-\Delta t_{N2dop}, \Delta t_{N1dop}] \quad k = 1, 2, \dots, k, \dots, K \quad (6)$$

$$e_a(p_{ck}) \in [-1/2(MAP - mAP_1), 1/2(MAP - mAP_1)] \quad k = 1, 2, \dots, k, \dots, K \quad (7)$$

Założeniem (4) i (5) określono odpowiednio rozkład brzegowy temperatury przepływu i ciśnienia przepływu w odcinku pomiarowym. Błędy aproksymacji $e_a(t_{ck})$ i $e_a(p_{ck})$ w tych rozkładach są zmiennymi losowymi o rozkładach prostokątnych z granicami odpowiednio (6) i (7).

3.3. Gęstość i objętość przepływu w odcinku pomiarowym

Dla k -tego obiektu gęstości wody obiegowej $\rho_r(t_{ck}, p_{ck})$ jest wyznaczana w oparciu o gęstość wody destylowanej $\rho_d(t_{ck}, p_{ck})$ z zależności:

$$\rho_r(t_{ck}, p_{ck}) = \lambda \cdot \rho_d(t_{ck}, p_{ck}) \quad (8)$$

Wartości λ wyznacza się w warunkach odniesienia t_{od} , p_{at} przyjmując zgodnie z [3], że $\lambda(t_{od}, p_{at}) = \lambda(t_{ck}, p_{ck})$. Zakładając, że ciśnienie atmosferyczne $p_{at} = 1,013$ bar można, w oparciu o [4], dla k -tego obiektu określić:

$$\rho_d(t_{ck}, p_{ck}) = WK(t_{ck})[1 + WT(t_{ck}) \cdot p_{ck}] \quad k = 1, 2, \dots, k, \dots, K \quad (9)$$

gdzie:

$WK(t_{ck})$ – wielomian Kella ujmujący zależność gęstości wody destylowanej od temperatury,
 $WT(t_{ck})$ – wielomian Tanaki dla wyznaczania współczynnika ściśliwości wody w zależności od temperatury.

W metodzie masowej z „zatrzymanym startem i stopem” wartość V_{ck} objętości, która przepłynęła przez przekrój odniesienia k -tego obiektu, wyznacza się z zależności:

$$V_{ck} = \frac{m \cdot c_1}{\rho_r(t_{ck}, p_{ck})} \quad k = 1, 2, \dots, k, \dots, K \quad (10)$$

gdzie:

m – masa przepływu wskazania przez wagę,
 c_1 – współczynnik wyporu.

4. Analiza niepewności wyznaczania objętości przepływu

Funkcję pomiaru objętości przepływu V_{ck} stanowi (10), w której uwzględniono (8) i (9). Gęstość wody obiegowej zmierzono w temperaturze odniesienia $t_{od} = 20$ °C. Przyjęto granice rozkładu brzegowego ciśnienia i temperatury przepływu wg tabeli 1, przy założeniu $MAP = 1,6$ MPa i $mAP_1 = 0,09$ MPa (wodomierz klasy ciśnieniowej MAP16). W tych warunkach w oparciu o (9), z uwzględnieniem (3) jako konsekwencji przyjęcia modeli (1) i (2), oszacowano niepewność wyznaczania gęstości $\rho_d(t_{ck}, p_{ck})$. Niepewność standardową pozostałych wielkości wejściowych oszacowano z praktyki. Zbudowano budżet względnej niepewności wyznaczania V_{ck} (tabela 2).

Tabela 2. Budżet wyznaczania niepewności wyznaczania objętości przepływającej przez k -ty przekrój odniesienia

Lp.	Symbol wielkości	Estymata wielkości		Niepewność standardowa		
	X_i	x_i	j.m.	$u(x_i)$	j.m.	$u(x_i)/x_i \cdot 100$ %
1	m	m	kg	$2,9 \cdot 10^{-2}$	kg	0,241 %
2	c_1	1,00103	-	$0,14 \cdot 10^{-3}$	-	0,014 %
3	$\rho_d(t_{od})$	998,20	kg/m ³	$0,289 \cdot 10^{-2}$	kg/m ³	0,0003 %
4	$\rho_r(t_{od})$	998,54	kg/m ³	$5,78 \cdot 10^{-2}$	kg/m ³	0,006 %
5	$\rho_d(t_{ck}, p_{ck})$	988,03	kg/m ³	1,35	kg/m ³	0,178 %
6	V_c	(10)	m ³	$u(V_c)$	m ³	0,3 %

Budżet niepewności, w części dotyczącej składowej niepewności związanej z pomiarem masy przepływu, jest otwarty, lecz ma charakter zadaniowy, tzn. dla założonej z góry $W(V_{c\text{ dop}})$ (tabela 2) i dla przyjętej z praktyki niepewności pomiaru masy poszukiwana jest dawka pomiarowa, przy której może nastąpić jego zamknięcie. Niepewność standardową pomiaru masy przyjmuje się jako $u(m) = 2,9 \cdot 10^{-2}$ kg, co odpowiada najczęściej stosowanej, w stanowiskach do szeregowego sprawdzania wodomierzy DN 15 ÷ DN40, wadze (Max = 300 kg, 2 kl. dokładności, działka legalizacyjna $e = 50$ g).

5. Wnioski

Budżet niepewności wyznaczania V_{ck} w warunkach określonych w p. 4 zamyka się przy dawce pomiarowej 12.5 kg (12,6 dm³). Oznacza to, że niepewności wyznaczenia $\rho_d(t_{ck}, p_{ck})$, a zatem t_{ck} i p_{ck} , oszacowane w tych warunkach mogą, z metrologicznego punktu widzenia, być przyjęte. Oszacowania te należy traktować jako dopuszczalne granice. Możliwe jest więc sprawdzanie szeregowe wodomierzy z zastosowaniem założonych modeli aproksymacji rozkładów ciśnienia i temperatury nawet wówczas, gdy wartości tych parametrów osiągają granice dopuszczalnych nastaw.

Literatura

1. Dyrektywa 2004/22/WE z dnia 31 marca 2004 r. w sprawie przyrządów pomiarowych.
2. PN-EN 14154-3 Wodomierze. Część 3: *Metody i wyposażenie do badań*.
3. Batista E. and Paton R.: *The selection of water property formulae for volume and flow calibration*. Metrologia 44(2007) 453-463.

Szacowanie zdolności pomiarowej CMC laboratoriów wzorcujących przepływomierze cieczi i gazów

Wiesław Gosk

1. Wstęp

W dniu 24 września 2009 r. ukazał się komunikat European co-operation for Accreditation informujący o porozumieniu między międzynarodową organizacją Europejska Współpraca w Dziedzinie Akredytacji (EA) i Międzynarodowym Komitetem Miar (CIPM) w sprawie ujednoczenia terminologii dotyczącej najmniejszej niepewności pomiarowej podczas wzorcowania i wprowadzenia w tym zakresie jednego terminu zdolność pomiarowa CMC (*Calibration and Measurement Capability*). Porozumienie to oznacza, że wszystkie laboratoria akredytowane stosujące termin najlepsza możliwość pomiarowa BMC (*Best Measurement Capability*) są zobowiązane do stosowania w jego miejsce terminu zdolność pomiarowa – CMC (stosowanego dotychczas tylko przez krajowe instytucje metrologiczne). Porozumienie było uwieńczeniem trwających od 2006 r. dyskusji nad ujednoczeniem terminologii w tym zakresie, w wyniku której strony doszły do wniosku, że między oboma pojęciami nie ma merytorycznych różnic.

W ślad za komunikatem EA Polskie Centrum Akredytacji wydało własny komunikat ustalając termin wprowadzenia powyższych zmian na 31.12.2010 r. Następnie dokumentem [2] PCA dokonało redefinicji stosowanego dotychczas w [1] pojęcia BMC. Z początkiem 2010 r. rozpoczął się zakrojony na szeroką skalę (bo obejmujący wszystkie laboratoria akredytowane) proces przejścia z BMC na CMC. Procesem przejścia z BMC na CMC objęte zostały także laboratoria akredytowane lub wnioskujące o akredytację w dziedzinie przepływu.

2. Szacowanie najmniejszej niepewności pomiaru przy wzorcowaniu przepływomierzy w aspekcie definicji zdolności pomiarowej CMC

Szacowanie najmniejszej niepewności pomiaru przy wzorcowaniu przepływomierzy powinno zgodnie z definicją CMC [2] odnosić się do warunków rutynowego wzorcowania rzeczywistych obiektów. W wielu laboratoriach akredytowanych w dziedzinie przepływów oszacowano dotychczasowe BMC bez uwzględniania składowej pochodzącej od wzorcowanego obiektu. Czy wzorcowanie obiektu w procesie oceny CMC jest rzeczywiście konieczne? Przecież uzyskanie CMC na poziomie dotychczasowego BMC (bez uwzględnionego wpływu obiektu) zależy tylko od „zaradności” laboratorium w pozyskaniu odpowiedniego obiektu wzorcowania – takiego, którego wpływ na niepewność wyniku wzorcowania będzie znikomy. Otóż jest konieczne. Jeżeli w procesie oceny CMC nie zostanie przeprowadzone wzorcowanie rzeczywistego obiektu, nawet takiego „prawie idealnego”, nigdy nie zostaną ujawnione i oszacowane wpływy na niepewności wzorcowania takich czynników jak:

operator (dowolnie wybrany z listy personelu akredytowanego) i czas (powodujący zmiany warunków wykonywania pomiarów). To dopiero te czynniki tworzą warunki rutynowo wykonywanego wzorcowania – warunki odtwarzalności wewnątrzlaboratoryjnej (wg [3] tzw. pośrednie warunki precyzji). W dziedzinie przepływów cieczy i gazów lista czynników wpływających na wartość wariancji wewnątrzlaboratoryjnej jest zresztą szersza i obejmuje wpływy zaburzeń przepływu wzorcowego (w małej i dużej skali) na obiekt wzorcowany i wpływy niedokładnej odtwarzalności (w serii pomiarów) wartości nastawy wzorcowego strumienia objętości. Wpływów tych nie obejmuje analiza niepewności wyznaczania wartości odniesienia (wzorcowego strumienia objętości). Nie wystarczy, w celu oszacowania niepewności, do budżetu niepewności przyjąć jakąś ograniczoną próbę z pomiarów wykonanych w warunkach powtarzalności. Aby sprostać definicyjnemu wymogowi „rutynowości” wzorcowania trzeba przeprowadzić eksperyment, o przemyślanym planie i na możliwie dużej próbie, z właściwymi statystycznymi miarami niepewności wnoszonej do niepewności wzorcowania.

Wreszcie występujący w definicji aspekt dowodów eksperymentalnych w procesie szacowania CMC. Podstawowe dowody są cztery: budżet niepewności z wyznaczoną niepewnością wzorca pomiarowego, przeprowadzone wzorcowania zewnętrzne, wyniki porównań międzylaboratoryjnych i wyniki wzorcowań własnych. Rola właściwie przeprowadzonej analizy niepewności wnoszonej przez wzorzec roboczy laboratorium jest oczywista, ale niewystarczająca do oszacowania CMC. Dowody z przeprowadzonych „tych najlepszych” wzorcowań zewnętrznych są dowodami najsłabszymi. Wzorcowanie jest oparte na ogół na ograniczonej próbie i w ograniczonym zakresie, co jest podyktowane utylitarnym charakterem tego wzorcowania. Dowody z przeprowadzonych porównań międzylaboratoryjnych nie są o wiele silniejsze, bo oparte na wzorcowniach o podobnym jw. charakterze. Wydaje się, że rola tego dowodu w zastosowaniu do szacowania CMC jest przeceniana. Owszem, wynik (pozytywny) porównania międzylaboratoryjnego waliduje metodę i potwierdza miarodajność wzorcowań, ale wynik oszacowania CMC tylko statystycznie weryfikuje. Do najsilniejszych należą dowody z przeprowadzonych wzorcowań wewnętrznych realizowanych w ramach planowanych eksperymentów oszacowania CMC. Bardzo użyteczne okazały się także zapisy z wzorcowań realizowanych dotychczas przez laboratoria w celu potwierdzenia jakości wyników wzorcowania, szczególnie stanowiących wystarczająco dużą próbę wyników pomiarów.

3. Zmiany w zakresach akredytacji laboratoriów wzorcujących przepływomierze związane z przejściem z BMC na CMC

Tabela 1 i tabela 2 zawierają wykaz wszystkich akredytowanych laboratoriów wzorcujących odpowiednio, przepływomierze do gazów i aspiratory oraz rotametry i anemometry do gazów. W wykazie pominięto gazomierze (zakres ich obciążeń pomiarowych pokrywa się z zakresem pomiarowym wzorcowanych przepływomierzy). Oprócz aktualnych zakresów akredytacji z przyjętą wartością CMC, podano także poprzedzającą ją wartość BMC. W przypadku wzorcowania przepływomierzy podano wartości CMC uzyskiwane przez GUM, a dla anemometrów przez PTB (GUM nie wykonuje wzorcowania anemometrów). Dla rotametrów i aspiratorów informacji o CMC w bazie BIPM nie podano.

Tabela 1. Zestawienie akredytowanych laboratoriów wzorcujących przepływomierze do gazów i aspiratory (wg www.pca.gov.pl)

Lp.	Nazwa organizacji	Rodzaj przyrządu pomiarowego	Zakres pomiarowy	Przepływomierze			Aspiratory		
				BMC (2009)	CMC (2010)	CMC GUM	BMC (2009)	CMC (2010)	CMC NMI
1	GIG Katowice	Pyłomierze typu CIP-10	(9,8 ÷ 19,2) dm ³ /h	-	-	-	0,09 dm ³ /min	0,13 dm ³ /min	-
		Pyłomierze typu Barbara 3A	(4,5 ÷ 5,5) dm ³ /h				0,1 dm ³ /min	0,13 dm ³ /min	
		Aspiratory	(1,7 ÷ 2,4) dm ³ /h				0,09 dm ³ /min	0,13 dm ³ /min	
2	PGNiG Warszawa	Przepływomierze	(0,016 ÷ 16) m ³ /h (0,1 ÷ 160) m ³ /h (1,31 ÷ 6500) m ³ /h	0,11 % 0,17 % 0,33 %	0,18 % 0,18 % 0,33 %	0,13 % 0,13 % 0,30 %	-	-	-
3	CIOP Warszawa	Przepływomierze mierników wydatku energetycznego	(10 ÷ 65) dm ³ /min	-	1 %	0,13 %	-	-	-
		Aspiratory	(0,1 ÷ 0,3) dm ³ /min (1 ÷ 5) dm ³ /min	-	-	-	-	1 %	-
4	EMIO Wrocław	Przepływomierze elektroniczne	(3 ÷ 11) m ³ /h	0,1 m ³ /h	0,1 m ³ /h	0,13 %	-	-	-
		Aspiratory elektroniczne	(10 ÷ 100) dm ³ /h	1,0 dm ³ /h	1,0 dm ³ /h	-	1,0 dm ³ /h	1,0 dm ³ /h	-
5	ZAP H. Iszczek Bestwinka	Przepływomierze	(1,2 ÷ 3) dm ³ /h (3 ÷ 20) dm ³ /h (20 ÷ 70) dm ³ /h (70 ÷ 7200) dm ³ /h	0,8 %	1,70 % 1,20 % 0,79 % 0,69 %	0,13 % 0,13 % 0,13 % 0,13 %	-	-	-
6	Laboserwis Katowice	Przepływomierze	(10 ÷ 140) dm ³ /h	-	1,5 %	0,13 %	-	-	-
		Aspiratory	(10 ÷ 70) dm ³ /h	-	-	-	-	2 %	-

Tabela 2. Zestawienie akredytowanych laboratoriów wzorcujących rotametry do gazów i anemometry (wg www.pca.gov.pl)

Lp.	Nazwa organizacji	Rodzaj przyrządu pomiarowego	Zakres pomiarowy	Rotametry			Anemometry		
				BMC (2009)	CMC (2010)	CMC NMI	BMC (2009)	CMC (2010)	CMC PTB
1	PGNiG Warszawa	Rotametry	(0,016 ÷ 16) m ³ /h (0,1 ÷ 160) m ³ /h	0,11 % 0,17 %	0,18 % 0,18 %	-	-	-	-
2	CIOP Warszawa	Anemometry	(0,15 ÷ 1,25) m/s (1,25 ÷ 7,5) m/s	-	-	-	2 % + 0,01 m/s 2 % + 0,025 m/s	0,06 m/s 0,21 m/s	0,1 %
			(7,5 ÷ 45) m/s				1 % + 0,075 m/s	0,70 m/s	(0,01 ÷ 0,05) m/s
3	OUM Poznań	Rotametry	(1 ÷ 30) dm ³ /h (30 ÷ 15000) dm ³ /h	(1) 0,38 %	(2) 0,38 %	-	-	-	-
4	IMG PAN Kraków	Anemometry	(0,4 ÷ 1,5) m/s	-	-	-	0,05 m/s	0,05 m/s	0,1%
			(1,5 ÷ 40) m/s				(3)	(4)	(0,01 ÷ 0,05) m/s
5	EMIO Wrocław	Prędkościomierz wiatraczkowy	(1,0 ÷ 6,0) m/s	-	-	-	(0,3 ÷ 1,1) m/s	(0,3 ÷ 1,1) m/s	0,1 %
		Prędkościomierz spiętrzeniowy	(5,0 ÷ 21,0) m/s				-	(1,0 ÷ 0,3) m/s	(0,01 ÷ 0,05) m/s
6	ZAP H. Iszczek Bestwinka	Rotametry	(1,2 ÷ 7200) dm ³ /h	0,8 %	5,48 % ÷ 0,72 %	-	-	-	-

- (1) $CMC = (0,0004 \cdot Q^2 - 0,00005 \cdot Q + 0,7327) \%$
 (2) $CMC = (0,0007 \cdot Q^2 - 0,01 \cdot Q + 0,85) \%$
 (3) $CMC = \left[2,83 \cdot 10^{-4} V^2 - 1,83 \cdot 10^{-3} V + 4,4716 \cdot 10^{-2} + \frac{0,18212}{V + 0,18212} + \frac{0,026413}{(V + 0,18212)^2} \right] \text{ m/s}$
 (4) $CMC = [0,0312 \cdot V - 0,565 + 6,24(V + 6,45)] \text{ m/s}$ V – prędkość powietrza

Można zauważyć, że zmiany w zakresach akredytacji laboratoriów związane z przejściem z BMC na CMC mają raczej charakter „kosmetyczny” i nie naruszają ustalonej w oparciu o BMC hierarchii. Laboratoria wzorcujące przepływomierze i rotametry były zresztą bardzo zróżnicowane pod względem poziomu BMC przed tą zmianą. Z kolei w grupie laboratoriów wzorcujących aspiratory istnieje specjalizacja i nawet jeżeli zakresy pomiarowe częściowo zachodzą za siebie, dotyczą innego rodzaju wzorcowanych przyrządów. Także w gronie laboratoriów wzorcujących anemometry utrzymany został dotychczasowy układ z IMG PAN z Krakowa (poz. 4, tabela 2) jako laboratorium odniesienia. Tylko w nielicznych przypadkach zachowana została dotychczasowa wartość BMC. Oczywiście można przyjąć, że te wartości zostały od razu oszacowane z uwzględnieniem składowej pochodzącej od wzorcowanego obiektu albo, że wzorcowano obiekty nie wnoszące istotnego wpływu na niepewność pomiarów. Niemniej na te przypadki, w szczególności zaś przypadki, w których wartości CMC są mniejsze od BMC, należałoby zwrócić szczególną uwagę w kolejnej ocenie laboratoriów, w których one występują. Nie powinny natomiast budzić zaniepokojenia (o ile oszacowania CMC są prawidłowe) sytuacje, w których CMC laboratorium zbliża się do CMC NMI (poz. 2 w tabeli 1) – to efekt rozwoju akredytowanego laboratorium. O relacji $CMC > BMC$ w przypadkach laboratoriów, w których najlepsza możliwość pomiarowa jest funkcją wartości wielkości mierzonej (poz. 3 i poz. 4 w tabeli 2), można się oczywiście przekonać wykonując stosowne obliczenia.

4. Podsumowanie

Operację wprowadzenia zdolności pomiarowej CMC do zakresów akredytacji laboratoriów wzorcujących mamy za sobą. Było to dla większości ocenianych podmiotów i oceniających je auditorów i ekspertów PCA doświadczenie nowe. Obie strony sprostały temu zadaniu. Ale wdrożenie CMC do praktyki metrologicznej jest procesem, procesem związanym z systemem jakości i jako taki wymaga ciągłego doskonalenia. Obszarów doskonalenia jest kilka. Z doświadczeń auditowych autora wynika potrzeba analizy wagi dowodów wymaganych od laboratorium na potwierdzenie uzyskiwanych wartości CMC, w szczególności porównań międzylaboratoryjnych w zastosowaniu do szacowania CMC. Należy zauważyć, że porównania te, w odróżnieniu od porównań kluczowych prowadzonych w procesie ustalania CMC przez NMI nie mają roli „twórczej” [4] lecz wyłącznie weryfikacyjną. W dziedzinie przepływów są to porównania bardzo kosztowne. Pogłębionemu studium, zdaniem autora, wymaga sprawa niepewności wzorcowania w warunkach odtwarzalności wewnątrzlaboratoryjnej i ustalenia pośrednich miar precyzji. Większość uzyskanych doświadczeń będzie mogła być z powodzeniem wykorzystana w szacowaniu CMC laboratoriów wzorcujących przepływomierze cieczy, które jak należy przypuszczać, w niedługim czasie będą ubiegać się o akredytację.

Literatura

1. Dokument EA-4/02: *Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu*, Główny Urząd Miar, Warszawa 2001.
2. Dokument DAP-04: *Akredytacja laboratoriów wzorcujących*, Polskie Centrum Akredytacji, wydanie 6, Warszawa 2009.
3. PN-ISO 5725-3: *Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych i wyników pomiarów. Część 3: Pośrednie miary precyzji standardowej metody pomiarowej*, Polski Komitet Normalizacji, Warszawa 2007.
4. Fotowicz P.: *Niepewność pomiaru w porównaniach kluczowych i międzylaboratoryjnych*, V Konferencja Naukowo-Techniczna PPM`06.

Zastosowanie oprogramowania LabView przy wzorcowaniu komór klimatycznych

Krzysztof Flakiewicz, Rafał Jarosz, Iwona Wiśniewska

1. Wstęp

Komory klimatyczne stanowią podstawowe urządzenie w badaniach środowiskowych różnych obiektów, a także przy wzorcowaniu przyrządów pomiarowych przeznaczonych do pomiarów parametrów klimatu, głównie temperatury i wilgotności względnej.

Wilgotność względna powietrza jest wielkością pochodną jego wilgotności bezwzględnej chwilowej i w stanie nasycenia, przy danej temperaturze i ciśnieniu. Jest określana jako stosunek tych wielkości i wyrażana w % [1]. Metoda pomiarowa odniesienia polega na pomiarze temperatury punktu rosy i temperatury powietrza i jest opisywana zależnością:

$$RH(t, p) = \frac{p_s(t_{dp})}{p_s(t)} \times 100\% \quad (1)$$

gdzie: $RH(t, p)$ – wilgotność względna w temperaturze t , przy ciśnieniu całkowitym powietrza p , $p_s(t_{dp})$ – ciśnienie cząstkowe nasyconej pary wodnej w temperaturze punktu rosy t_{dp} , $p_s(t)$ – ciśnienie cząstkowe nasyconej pary wodnej w temperaturze t .

Zadaniem komory jest wytworzenie powietrza o określonej temperaturze i wilgotności, w którym umieszcza się wzorcowane przyrządy.

2. Stanowisko pomiarowe

W celu uzyskania odpowiednich parametrów klimatu w komorze stosowane są elementy grzejne, chłodzące, nawilżające i suszące, a ponadto stosowany jest wymuszony obieg powietrza. Do regulacji parametrów klimatu w komorze potrzebne są czujniki temperatury i wilgotności, które są umieszczane w odpowiednio wybranych miejscach.

W praktyce uzyskanie jednorodnego klimatu poprzez wymieszanie powietrza o zróżnicowanej temperaturze i wilgotności nie jest w pełni możliwe. Przy określonych nastawach na sterowniku komory, które są traktowane jedynie jako orientacyjne, w przestrzeni roboczej występuje istotny rozrzut temperatury i wilgotności, a dokładna znajomość rozkładu tych wielkości w czasie i przestrzeni jest często istotna dla prowadzonych badań. W tym celu możliwe są dwa rozwiązania:

- wyposażenie komory w układ wielu czujników temperatury i wilgotności, umożliwiający aktualny pomiar rzeczywistych parametrów klimatu panującego w komorze podczas badań,
- zastosowanie w komorze wzorcowych przyrządów – termometru i higrometru punktu rosy z chłodzonym lustrem oraz okresowe wykonywanie wzorcowania komory, co pozwala na określanie aktualnych parametrów klimatu na podstawie wcześniej wyznaczonych charakterystyk.

W pierwszym przypadku możliwe jest dokładniejsze, ciągle monitorowanie klimatu w komorze, ale wymaga zastosowania znacznie droższego systemu pomiarowego, wyposażonego w wiele czujników pomiarowych. W drugim przypadku znajduje zastosowanie oddzielny, wielokanałowy układ pomiarowy temperatury i wilgotności, który może być wykorzystany wielokrotnie przy wzorcowaniu różnych komór. Komora jest traktowana jako przyrząd pomiarowy: generator temperatury i wilgotności, którego charakterystyki są wyznaczone w procesie wzorcowania. Metodyki wzorcowania komór klimatycznych są zagadnieniem, któremu poświęcone są liczne publikacje krajowe i międzynarodowe o statusie przewodników, norm lub zaleceń [2]. Konsekwencją powyższych ustaleń jest konieczność stosowania wielokanałowych układów pomiarowych temperatury i wilgotności względnej. Do tego celu wykorzystano:

- do pomiaru rozkładu temperatury mostek termometryczny F600 ze skanerem 10-kanalowym i zestawem czujników pt100 o odpowiedniej konstrukcji,
- do pomiaru rozkładu wilgotności względnej interfejs LB-291 – Kalibrator termo-higrometrów LB-701.

W pracy przedstawiona została metodyka wzorcowania komór klimatycznych opracowana i zastosowana w Laboratorium Wilgotności GUM. Z uwagi na zastosowanie komory klimatycznej w tym laboratorium do wzorcowania przyrządów pomiarowych, wymagania metrologiczne odnośnie parametrów komory są znacznie wyższe, niż w przypadku badań środowiskowych, stanowiących typowe zastosowanie komór. Ponadto sama komora wymagała odpowiednich adaptacji do tych celów. Nie wnikając głębiej w szczegóły techniczne zastosowanych rozwiązań termodynamicznych w pracy omówiono założenia metody, rozwiązanie układu pomiarowego, rezultaty uzyskane przy wykorzystaniu środowiska LabView.

Celem pracy było zbadanie rozkładów temperatury i wilgotności względnej, niezbędne do oszacowania wartości poprawnych mierzonych wielkości i sporządzenia budżetu niepewności.

Ze względu na charakter zjawiska, dominującym czynnikiem jest rozkład temperatury, gdyż rozkład wilgotności bezwzględnej (temperatury punktu rosy), jako realizowany na drodze dyfuzji, wyrównuje się w zamkniętej przestrzeni wielokrotnie szybciej od innych parametrów.

Literatura

1. Flakiewicz K.: *Wilgotność powietrza i gazów. Pomiary i wzorcowanie*. Biuletyn Głównego Urzędu Miar, Nr 4(15) (2009), 3-20.
2. Deutscher Kalibrierdienst DKD, Guideline DKD-R 5-7, Calibration of Climatic Chambers, Ed. 07/2004, English translation 02/2009.

Komputeryzacja wzorca podstawowego wilgotności – generatora temperatury punktu rosy

Rafał Jarosz, Krzysztof Flakiewicz

Podstawową wielkością w pomiarach wilgotności powietrza jest temperatura punktu rosy, która określa temperaturę powietrza, w której zawarta w nim para wodna osiąga stan nasycenia. Do wzorcowania przyrządów do pomiaru wilgotności powietrza w Laboratorium Wilgotności Głównego Urzędu Miar przeznaczone są trzy stanowiska pomiarowe; dwa dla temperatury punktu rosy i jedno dla wilgotności względnej. Generator temperatury punktu rosy stanowi główny element wzorca podstawowego wilgotności powietrza, przy wykorzystaniu którego wzorcowane są wzorcowe higrometry punktu rosy z chłodzonym lustrem.

W obliczeniach higrometrycznych zasadnicze znaczenie mają zależności ciśnienia cząstkowego nasyconej pary wodnej p_w i p_i od temperatury (w fazie czystej, nad płaską powierzchnią wody). Gdy temperatura wyrażana jest w kelwinach (wg skali temperatur ITS 90), a obliczane ciśnienia cząstkowe mają być wyrażane w paskalach, zależności te mają następującą postać [1], [2]:

dla wody:

$$\ln p_w(T) = -6096,9385 \cdot T^{-1} + 21,2409642 - 2,711193 \cdot 10^{-2} \cdot T + 1,673952 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 2,433502 \cdot \ln T$$

dla lodu:

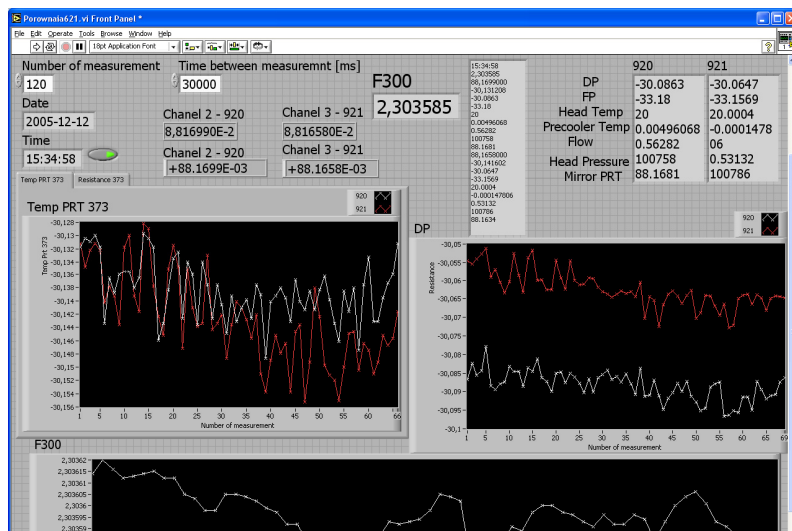
$$\ln p_i(T) = -6024,5282 \cdot T^{-1} + 29,32707 + 1,0613868 \cdot 10^{-2} \cdot T + 1,3198825 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,49382577 \cdot \ln T$$

gdzie: p_w, p_i – ciśnienia cząstkowe nasyconej pary wodnej dla wody i lodu, T – temperatura.

Zakres przeprowadzanych wzorcowań obejmuje przedział od -80 °C do $+95$ °C temperatury punktu rosy. Wyróżniamy dwie wersje generatora temperatury punktu rosy DPG1: od -80 °C do około $+20$ °C (dew point generator) oraz DPG2: od $+10$ °C do $+95$ °C [3, 4]. Generator temperatury punktu rosy jest jedynym podstawowym wzorcem wilgotności w Polsce. Walidacja wzorca podstawowego została przeprowadzona poprzez międzynarodowe, kluczowe porównania wielostronne EUROMET P621 oraz P717. Wynikiem końcowym porównań jest zaakceptowana w tabelach CMC wartość niepewności rozszerzonej w przedziale od $0,03$ °C do $0,3$ °C w zależności od zakresu (dla $k = 2$ przy poziomie ufności 95 %).

Podczas przeprowadzania wzorcowań oraz badań z udziałem generatora temperatury punktu rosy rejestrowanych jest wiele wielkości pomiarowych. Są to m.in. rezystancja czujnika SPRT, stosunek wartości oporu czujnika SPRT i opornika wzorcowego, temperatura punktu rosy lub szronu higrometru, ciśnienie atmosferyczne, ciśnienie głowicy pomiarowej higrometru, przepływ, temperatura systemu wspomagającego chłodzenie lustra higrome-

tru, warunki otoczenia (temperatura, ciśnienie, wilgotność względna). Ze względu na potrzebę rejestracji dużej liczby danych zostały stworzone aplikacje w środowisku LabView. Zapewniona została możliwość łączenia pojedynczych modułów w większe aplikacje w zależności od potrzeb.



Rys. 1. Aplikacja wykorzystana do rejestracji danych podczas porównania EURAMET P621

W pracy przedstawiono budowę i zasadę działania obydwu wersji generatora temperatury punktu rosy, strukturę układów pomiarowych, w których wykorzystano różne typy interfejsów pomiędzy elementami systemu pomiarowego. W dalszej części omówiono wykorzystanie środowiska programowalnego LabView podczas rejestracji charakterystyk metrologicznych stanowiska wzorcującego oraz wzorcowych higrometrów punktu rosy z chłodzonym lustrem.

Literatura

1. Sonntag D.: *Important New values of the physical constants of 1986, vapour pressure formulations based on the ITS-90, and psychrometr formulae*, Zeitschrift fur Metrologie, (1990), 340-344.
2. A Guide to the Measurement of Humidity, Published by the Institute of Measurement and Control, London (1996), 53-54.
3. Flakiewicz F.: *Improvement of the primary humidity standard in GUM, 8th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science*, TEMPMEKO. Berlin, (2001).
4. Flakiewicz K.: *Instrukcja wzorcowania wzorcowych higrometrów punktu rosy z chłodzonym lustrem w odniesieniu do wzorca podstawowego – generatora temperatury punktu rosy*, Instrukcja systemowa, 5th edition, (2010).

50 m komparator interferencyjny

Mariusz Wiśniewski

Laboratorium Długości Zakładu Długości i Kąta Głównego Urzędu Miar wyposażone jest w jedyny w Polsce zautomatyzowany komparator interferencyjny o zakresie pomiarowym 50 m. Komparator umożliwia wzorcowanie przymiarów sztywnych, półsztywnych i wstępowych, interferometrów i dalmierzy laserowych oraz magnetostrykcyjnych mierników do pomiaru wysokości napełnienia zbiorników pomiarowych. Zakład Długości i Kąta uczestniczył w porównaniach międzynarodowych pomiarów przymiarów wstępowych metodą interferencyjną. Wyniki uzyskane na stanowisku 50 m komparatora interferencyjnego stawiają Główny Urząd Miar wśród najlepszych europejskich NMI (*Krajowych Instytutów Metrologicznych*).

Komparator znajduje się w klimatyzowanym laboratorium i jest umieszczony na podporach izolujących go od drgań budynku. Karetka pomiarowa porusza się wzdłuż komparatora po dwóch stalowych prowadnicach. Przesuw karetki pomiarowej kontrolowany jest zdalnie za pomocą programu komputerowego sterującego pracą silnika krokowego.

Karetka pomiarowa wyposażona jest w mikroskop z kamerą CCD. Umożliwia to zdalne obserwowanie na monitorze kresek wzorcowanego przymiaru i dokładnie ustawienie karetki pomiarowej w zadanych punktach pomiarowych. Napisane w Zakładzie Długości i Kąta oprogramowanie umożliwia zastosowanie dodatkowych funkcji poprawiających jakość obrazu, co wpływa na lepszą powtarzalność pomiarów.

Położenie karetki pomiarowej określane jest za pomocą interferometru laserowego HP 5529A. Proces zbierania i analizowania danych pomiarowych odbywa się automatycznie z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania komputerowego. Praca interferometru kontrolowana jest za pomocą oprogramowania dostarczonego przez producenta.

Na całej długości komparatora rozmieszczonych jest 40 termistorowych czujników temperatury YSI do pomiarów temperatury powietrza oraz przymiaru. W trakcie wzorcowania mierzone są również ciśnienie atmosferyczne i wilgotność. Pomiary temperatury, ciśnienia i wilgotności wykonywane są przy wykorzystaniu oprogramowania stworzonego w Zakładzie Długości i Kąta. W referacie omówiono również budżet niepewności oraz badania nad wpływem zmian temperatury w trakcie wzorcowania na uzyskiwane wyniki i niepewność pomiarów.

Worzec odniesienia GUM jednostki objętości przepływu i strumienia objętości gazu na przykładzie wybranych stanowisk pomiarowych

Jakub Wildner, Arkadiusz Zadworny

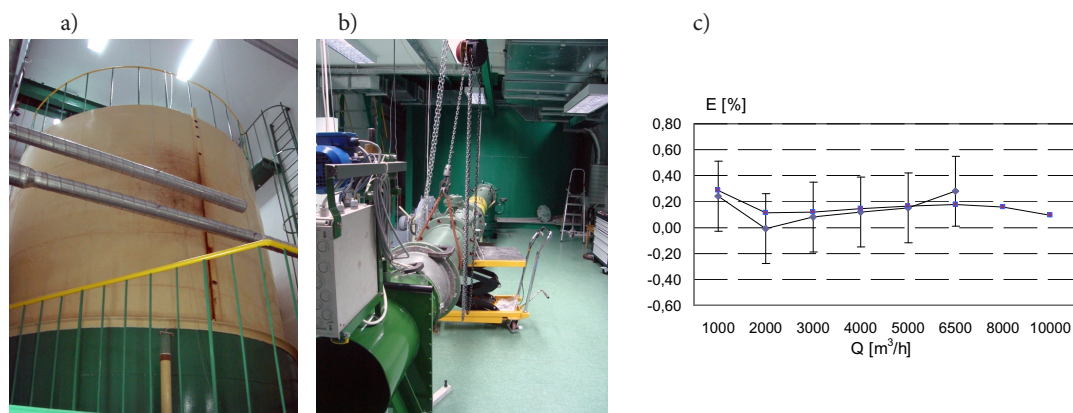
1. Budowa i działanie stanowiska nr S05

Stanowisko pomiarowe z wzorcowym zbiornikiem dzwonowym nr S05 służy do wyznaczania objętości przepływu i strumienia objętości gazu, w zakresie strumieni objętości od 9 m³/h do 7000 m³/h, podczas określania charakterystyki metrologicznej gazomierzy i wzorcowania przepływomierzy do gazu (np. rotametrów).

Prace nad projektem tego stanowiska rozpoczęto w latach 50. XX wieku. Stanowisko zostało włączone do eksploatacji pod koniec lat 60. i jest do dziś wykorzystywane w bieżącej pracy laboratorium. Mimo upływu lat stanowisko wciąż działa na najwyższym, światowym poziomie, co potwierdzają wyniki porównań międzynarodowych.

W 2008 roku Laboratorium Przepływów GUM wzięło udział w międzynarodowym projekcie EURAMET nr 1006. Dotyczył on porównania wyznaczonych charakterystyk metrologicznych gazomierza turbinowego o wielkości G6500, w zakresie strumieni objętości od 1000 m³/h do 10 000 m³/h.

Wyniki porównań stanowiska S05, w odniesieniu do wartości referencyjnej, przedstawione są na rysunku 1c). Linią pogrubioną zaznaczono wyniki uzyskane w Laboratorium Przepływów Zakładu Mechaniki i Akustyki GUM wraz z zaznaczoną niepewnością pomiaru. Największa bezwzględna różnica wartości uzyskanych z pomiarów nie przekraczała wartości 0,12 %, dla względnej niepewności pomiaru 0,27 %, co należy uznać za wynik bardzo dobry.



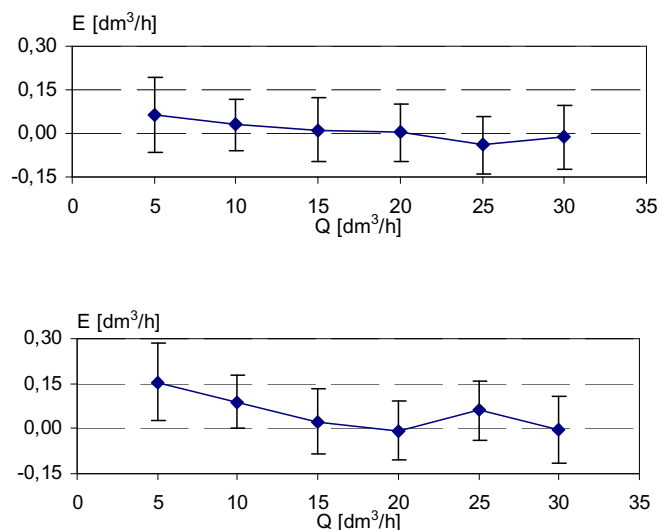
Rys. 1. Stanowisko z wzorcowym zbiornikiem dzwonowym nr S05: a) zbiornik dzwonowy, b) wylot z odcinkiem pomiarowymi zamontowanym gazomierzem, c) wyniki uzyskane w Laboratorium Przepływów w projekcie EURAMET nr 1006

2. Budowa i działanie stanowiska nr S06

Na początku bieżącego roku zakończono modernizację stanowiska pomiarowego z wzorcami tłokowymi znajdujące się w Laboratorium Przepływów GUM. Stanowisko to składa się z czterech szklanych cylindrów, których objętości nominalne wynoszą odpowiednio: $V_1 = 0,03 \text{ dm}^3$, $V_2 = 0,2 \text{ dm}^3$, $V_3 = 1,2 \text{ dm}^3$ oraz $V_4 = 12 \text{ dm}^3$ i jest przeznaczone do sprawdzania przyrządów pomiarowych służących do pomiaru objętości przepływu i strumienia objętości gazów. Zakres pomiarowy strumieni objętości wynosi od $0,7 \text{ dm}^3/\text{h}$ do $700 \text{ dm}^3/\text{h}$.

W drugim kwartale 2011 roku Laboratorium Przepływów GUM przeprowadziło porównania stanowiska pomiarowego z wzorcowym zbiornikiem dzwonowym nr S02 z wzorcami tłokowymi znajdującymi się na stanowisku pomiarowym nr S06.

Przykładowe wyniki porównania przeprowadzonego za pomocą kontrolnego rotametu do gazu, w zakresie strumieni objętości od $5 \text{ dm}^3/\text{h}$ do $30 \text{ dm}^3/\text{h}$, z pokazaniem niepewności pomiaru, przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2 Wyniki wzorcowania rotametu: a) na stanowisku pomiarowym z wzorcowym zbiornikiem dzwonowym nr S02 (punkty pomiarowe: $5 \text{ dm}^3/\text{h}$ i $10 \text{ dm}^3/\text{h}$ znajdują się poniżej zakresu użytkowania stanowiska), b) za pomocą szklanego cylindra o objętości nominalnej $V_3 = 1,2 \text{ dm}^3$

W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzono, że stanowisko pomiarowe z wzorcami tłokowymi nr S06 może być wykorzystane do wzorcowania rotametrów do gazu oraz przepływomierzy błonkowych.

Sposoby uwzględniania wpływu charakterystyk metrologicznych mierników poziomu dźwięku na niepewność pomiaru wielkości charakteryzujących hałas

Danuta Dobrowolska

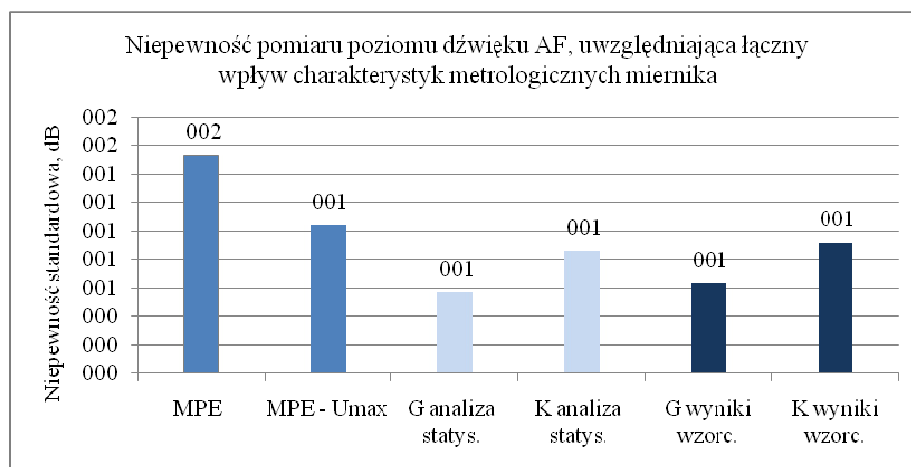
Ocena hałasu bez wiedzy na temat niepewności przeprowadzonych pomiarów poziomu dźwięku jest niepełna, bowiem niepewność niesie ze sobą informację o jakości wyniku i charakteryzuje możliwy rozrzut wartości, który można w uzasadniony sposób przypisać wielkości mierzonej. Na niepewność pomiaru poziomu dźwięku może wpływać wiele czynników: metoda pomiarowa, miejsce wykonywania pomiarów, tło akustyczne, warunki środowiskowe, biegłość operatora, a także aparatura pomiarowa, której wpływ na niepewność jest rozważany w niniejszym opracowaniu.

Miernik poziomu dźwięku jest podstawowym przyrządem do pomiaru wielkości charakteryzujących hałas. Potrzeba obiektywnych pomiarów, uwzględniających jednocześnie sposób percepcji dźwięków przez ucho ludzkie, doprowadziła do standaryzacji i stworzenia już na początku lat 60-tych XX wieku umownego modelu miernika, który był następnie doskonalony wraz z postępem technologicznym. Rzeczywisty miernik poziomu dźwięku różni się w mniejszym lub większym stopniu od znormalizowanego modelu miernika idealnego. Odchylenia jego charakterystyk metrologicznych od wartości docelowych mogą powstawać już w fazie projektowania, następnie w procesie produkcji, a w końcu wskutek eksploatacji i starzenia się przyrządu. Aktualne wymagania dotyczące błędów dopuszczalnych, jak też dopuszczalnych zmian wskazań miernika wskutek oddziaływania różnych czynników fizycznych są określone w normie PN-EN 61672-1. Producenci deklarują zgodność charakterystyk miernika z wymaganiami dla określonej klasy dokładności. W Polsce, zgodnie z ustawą Prawo o miarach, zgodność ta powinna być dodatkowo potwierdzona w czasie badań typu przeprowadzanych przed wprowadzeniem przyrządu na rynek. Wybrane charakterystyki mierników są wyznaczone i oceniane w czasie wzorcowań okresowych. Wyniki wzorcowań dostarczają danych na temat rzeczywistych błędów charakterystyk oraz ich zmienności w czasie. Ze względu na złożoność sygnałów rzeczywistych, które mierzy miernik, wyniki te nie mogą jednak służyć do korygowania wyników pomiaru poziomu dźwięku jako poprawki. Natomiast mogą być one wykorzystane do oszacowania wpływu niedoskonałości charakterystyk miernika na niepewność pomiaru poziomu dźwięku.

Zaproponowano model matematyczny pomiaru poziomu dźwięku uwzględniający różne wielkości wpływające na wynik pomiaru, w tym opisane za pomocą poprawki związanej z błędem regulacji i wzorcowania miernika za pomocą kalibratora akustycznego oraz poprawki wynikającej z niedoskonałości charakterystyk metrologicznych miernika, a także modele matematyczne wyznaczenia tych poprawek. Przedstawiono sposoby szacowania niepewności wielkości wpływających, a w szczególności zaproponowano i porównano trzy

różne podejścia do szacowania składowych niepewności pomiaru poziomu dźwięku związanych z charakterystykami metrologicznymi mierników, wykorzystujące: wartości dopuszczalne błędów określone w normie PN-EN 61672-1 dla mierników danej klasy dokładności, dane wynikające z analizy statystycznej wyników wzorcowania okresowego mierników określonego typu oraz wyniki wzorcowania okresowego określonego egzemplarza miernika. Omówiono również sposób uwzględniania wpływu szumów własnych miernika na niepewność pomiaru poziomu dźwięku o małych wartościach.

Na rysunku poniżej przedstawiono wyniki oszacowania łącznego wpływu niedoskonałych charakterystyk metrologicznych mierników na niepewność pomiaru poziomu dźwięku A uśrednionego wykładniczo ze stałą czasową F, uzyskane różnymi metodami. Wyniki te uwzględniają wpływ wielkości fizycznych oddziałujących na miernik w pełnym dopuszczalnym zakresie zmian, tj. ciśnienia statycznego (85 – 108) kPa, temperatury (-10 – +50) °C i wilgotności (25 – 90) % oraz przy maksymalnych dopuszczalnych wpływach zakłóceń elektromagnetycznych i napięcia zasilania, jak też w ograniczonych zakresach zmian tych wielkości, tj. ciśnienia statycznego (95 – 105) kPa, temperatury (0 – 30) °C oraz przy braku wpływu zakłóceń elektromagnetycznych i napięcia zasilania. W obu przypadkach do obliczeń przyjęto wartości dopuszczalne błędów charakterystyki kierunkowości określone dla kątów padania z przedziału $\pm 30^\circ$ i częstotliwości do 4 kHz. Niepewności związane z oddziaływaniem czynników fizycznych na miernik oraz wpływem kierunkowości charakterystyki mikrofonu szacowano na podstawie błędów dopuszczalnych (MPE) określonych w normie PN-EN 61672-1 dla klasy dokładności 1 oraz na podstawie błędów pomniejszych określonych w ww. normie maksymalną, akceptowalną niepewność ich wyznaczenia (U_{\max}).



Wykazano, że szacowanie składowej niepewności pomiaru poziomu dźwięku uwzględniającej wpływ niedoskonałych charakterystyk metrologicznych mierników, przeprowadzone na podstawie błędów dopuszczalnych, może prowadzić do znacznego przeszacowania niepewności w przypadku mierników dobrej jakości. Stwierdzono również, że oszacowanie niepewności związanej z charakterystyką kierunkowości miernika wymaga indywidualnego podejścia w zależności od stosowanej metody, widma hałasu, wzajemnego usytuowania miernika i źródła dźwięku. Podkreślono, że przy szacowaniu niepewności związanych z oddziaływaniem różnych czynników fizycznych na miernik warto skorzystać z wiarygodnych danych producenta, o ile są dostępne.

Stabilność długoterminowa generatorów kwantowych wykorzystywanych w pomiarach długości

Dariusz Czulek, Robert Szumski

W Zakładzie Długości i Kąta Głównego Urzędu Miar stosowane są dwa sposoby praktycznej realizacji definicji jednostki długości:

- stabilizowany laser oparty na absorpcji molekuł jodu (promieniowanie zalecane przez CIPM (Międzynarodowy Komitet Miar), długość fali $\lambda \approx 633$ nm, niepewność względna $5 \cdot 10^{-11}$,
- syntezer częstotliwości optycznych (metoda ta opiera się na pomiarze częstotliwości stabilnego źródła światła poprzez porównanie jej ze znacznie stabilniejszą częstotliwością generatora (państwowy wzorzec jednostek czasu i częstotliwości: zegar cezowy), a następnie wyznaczeniu z zależności matematycznej długości fali.

W referacie (stabilność długoterminowa częstotliwości promieniowania laserowego) zaprezentowano drugie stanowisko pomiarowe (syntezer częstotliwości optycznych). Przedstawiono budowę, zasadę działania oraz charakterystykę metrologiczną stanowiska pomiarowego. Układ pomiarowy zsynchronizowany został z państwowym wzorcem jednostek czasu i częstotliwości, co spowodowało, że uzyskano stabilność układu pomiarowego na poziomie 10^{-12} . Jego budowa i stabilność pozwoliły na długoterminowe badania stabilności częstotliwości stabilizowanych laserów metrologicznych stosowanych w Laboratorium Długość. Pozwoliło to również na określenie wpływu zmian częstotliwości na wyniki pomiarów długości. Zaprezentowane zostały wyniki badań długoterminowej stabilności częstotliwości promieniowania stabilizowanych laserów metrologicznych oraz głowic interferometrów laserowego stosowanych w praktyce na stanowiskach pomiarowych Zakładu Długości i Kąta GUM.

Determination of phase correction for interferometrically measured gauge blocks based on 3D surface roughness analysis

Zbigniew Ramotowski, Leszek Salbut

Phase correction is necessary for interferometric measurements of gauge blocks length using an auxiliary platen. The phase correction compensates the differences in the reflecting properties of the gauge block and the platen surfaces.

Different phase corrections are reported for gauge blocks of different producers, made from different materials and with different surface roughness of the gauge block and the platen. Experiments prove inadequacy of applying standard surface roughness parameters in order to find the relation between the phase correction and surface roughness. In the paper the process of selection of the best surface roughness parameter for this purpose is analyzed. The new parameter based on the difference between the weighted mean of maximum and minimum asperities of 3D surface roughness measured by using modernized Linnik's phase shifting interferometer is introduced. The results of comparison of the values of phase correction calculated from the difference between the weighted mean values and calculated from stack method measurement are presented and discussed. The complementary method of phase correction measurement based on cross wringing method with the use of modernized phase shifting Kösters interferometer is proposed. The cross wringing method allows to measure under the same ambient conditions the length deviation of the gauge block wrung simultaneously to another gauge block and the platen of different material or different surface roughness. The sum of the difference between the results of the measured length deviations and the difference between the roughnesses of both surfaces is the difference in platen materials phase shift correction. The results obtained by cross wringing method are presented and discussed.

Wydawca: **Główny Urząd Miar**

Prezes

JANINA MARIA POPOWSKA

tel. (22) 581 95 45, fax 620 84 11,

e-mail: prjp@gum.gov.pl

Wiceprezes do spraw metrologii prawnej

DOROTA HABICH

tel. (22) 581 93 26, fax 624 25 73,

e-mail: vprdh@gum.gov.pl

Wiceprezes do spraw metrologii naukowej

WŁODZIMIERZ POPIOŁEK

tel. (22) 581 95 49, fax 620 84 11, e-mail: vprwp@gum.gov.pl

Dyrektor Generalny Urzędu

tel. (22) 581 93 78, fax 624 02 68, e-mail: dgu@gum.gov.pl

Redakcja: **Paweł Fotowicz** tel. (22) 581 92 95, e-mail: uncert@gum.gov.pl