

PAŃSTWOWY WZORZEC JEDNOSTKI TEMPERATURY W GŁÓWNYM URZĘDZIE MIAR

Termometria i międzynarodowe skale temperatury

Istotą współczesnej termometrii jest prowadzenie nieustających prac nad skalą termodynamiczną temperatury, którą wyznaczającą definicyjne punkty stałe i odpowiadające im wartości temperatury, jak również doskonalenie urządzeń do odtwarzania tych punktów. Na przestrzeni lat zmiany międzynarodowych skal temperatury odzwierciedlały dynamiczny postęp techniczny w zakresie technik pomiarowych, konstrukcji przyrządów i urządzeń oraz stosowanych materiałów. Już w kilka lat po ustaleniu kolejnej, nowej wersji skali ujawniały się jej defekty i odchylenia od skali termodynamicznej. Pojawiała się wówczas potrzeba ustalenia następnej wersji skali.

Pierwsza skala temperatury o zasięgu międzynarodowym została przyjęta w 1887 r. przez Międzynarodowy Komitet Miar (CIPM) i zatwierdzona była przez pierwszą Generalną Konferencję Miar (CGPM) w 1889 r. Opierała się na wynikach wieloletnich badań z zastosowaniem termometru wodorowego (gazowego) o stałej objętości (termometr Chappuisa). Miała ograniczony zakres stosowania, od punktu topnienia lodu (0 °C) do punktu wrzenia wody (100 °C). Przyrządami odtwarzającymi tą skalę były cztery termometry szklane rtęciowe, których wskazania były bezpośrednio porównywane ze wskazaniami termometru gazowego. W rezultacie przeprowadzonych prac w instytutach metrologicznych Niemiec, Stanów Zjednoczonych i Anglii, wystąpiono w 1911 r. do Międzynarodowego Biura Miar (BIPM) z propozycją ustanowienia międzynarodowej skali termodynamicznej, odtwarzanej z zastosowaniem platynowych termometrów rezystancyjnych w zakresie od 0 °C do 450 °C. Niedługo potem rozszerzono proponowany zakres temperatury do (-100 ÷ 1100) °C. Ostatecznie V Generalna Konferencja Miar zaakceptowała zmianę skali odtwarzanej z zastosowaniem termometru wodorowego o stałej objętości, na skalę termodynamiczną oraz nastąpiło określenie punktów odniesienia, których wartości miały być ustalone w możliwie dokładny wówczas sposób. Uzgodniony projekt skali został przyjęty przez VII Generalną Konferencję Miar jako Międzynarodowa Skala Temperatury z 1927 r. (MST-27). Miała ona mieć charakter uniwersalny i zastąpić różne istniejące wówczas państwowe skale temperatury. Była zdefiniowana sześcioma punktami stałymi, trzema wzorcowymi przyrządami interpolacyjnymi oraz równaniami interpolacyjnymi do obliczania temperatury pomiędzy tymi punktami. Zawarte w niej ustalenia umożliwiały przeprowadzenie dokładnych i odtwarzalnych pomiarów temperatury z najbliższym, jak to wówczas było możliwe, przybliżeniem do temperatur termodynamicznych.

W okresie powojennym kolejno ustanowione skale temperatury to: Międzynarodowa Skala Temperatury z 1948 r. (MST-48), Międzynarodowa Praktyczna Skala Temperatury z 1948 r. wraz z wydaniem poprawionym z 1960 r. (MPST-48), Międzynarodowa Praktyczna Skala Temperatury z 1968 r. wraz z wydaniem poprawionym z 1975 r. (MPST-68), Tymczasowa Skala Temperatury z 1976 r. (TST-76) oraz aktualnie obowiązująca Międzynarodowa Skala Temperatury z 1990 r. (MST-90).

Wprowadzona w roku 1948 skala MST-48 miała na celu usunięcie ujawnionych w międzyczynie odchyłeń od skali termodynamicznej, przez przyporządkowanie punktowi krzepnięcia srebra „lepszej” wartości temperatury (960,8 °C zamiast 960,5 °C) i zastosowanie nowej wartości stałej promieniowania oraz wprowadzenie wzoru Plancka zamiast wzoru Wiena. Uzupełniona wersja MST-48, przyjęta XI Generalną Konferencją Miar w 1960 r., jako MPST-48, wprowadzała punkt potrójny wody (0,01 °C) zastępujący punkt topnienia lodu (0 °C) oraz rekomendowała alternatywne stosowanie punktu krzepnięcia cynku (419,505 °C) jako lepiej odtwarzalnego od punktu wrzenia siarki (444,6 °C). Stopniowo eliminowano punkty wrzenia, zastępując je lepiej odtwarzalnymi punktami krzepnięcia lub topnienia oraz punktami potrójnymi.

Skala MPST-68 w stosunku do skali MPST-48 wprowadzała istotne zmiany, do których należały: zmiana nazwy i oznaczenia jednostki temperatury termodynamicznej (nadanie nazwy kelwin i oznaczenia K) oraz definicji kelwina, wprowadzenie sześciu nowych definicyjnych punktów stałych – pięć punktów dla niskich temperatur i jeden – dla średnich (punkt krzepnięcia cyny), wyeliminowanie punktu wrzenia siarki, zmiana wartości przypisanych czterem punktom stałym, zmiana wzorów interpolacyjnych dla zakresu odtwarzania skali z zastosowaniem termometru rezystancyjnego i termoelementu.

Kolejna, aktualnie obowiązująca skala MST-90, przyjęta przez Międzynarodową Konferencję Miar w 1989 r., zaczęła obowiązywać od 1 stycznia 1990 r., ale już w 1999 r. XXI Generalna Konferencja Miar przewidziała jej rozszerzenie poniżej dolnej granicy 0,65 K. Skala MST-90, zastępując MPST-68 i wydanie poprawione z 1975 r. oraz TST-76, wprowadzała następujące zmiany: obniżenie dolnej granicy jej stosowania do 0,65 K, wpro-

Tabela 1. Definicyjne punkty stałe MST-90

Lp.	Temperatura		Substancja ^(a)	Rodzaj punktu ^(b)
	T ₉₀ /K	t ₉₀ /C		
1	od 3 do 5	od -270,15 do -268,15	³ He	V
2	13,8033	-259,3467	e-H ₂	T
3	około 17	-256,15	e-H ₂ (lub He)	V (lub G)
4	około 20,3	-252,85	e-H ₂ (lub He)	V (lub G)
5	24,5561	-248,5939	Ne	T
6	54,3584	-218,7916	O ₂	T
7	83,8058	-189,3442	Ar	T
8	234,3156	-38,8344	Hg	T
9	273,16	0,01	H ₂ O	T
10	302,9146	29,7646	Ga	M
11	429,7485	156,5985	In	F
12	505,078	231,928	Sn	F
13	692,677	419,527	Zn	F
14	933,473	660,323	Al	F
15	1234,93	961,78	Ag	F
16	1337,33	1064,18	Au	F
17	1357,77	1084,62	Cu	F

^(a) – wszystkie substancje, z wyjątkiem ³He, mają naturalny skład izotopowy; e-H₂ oznacza wodór o składzie odpowiadającym równowadze między odmianami molekularnymi „orto” i „para”,

^(b) – symbole mają następujące znaczenia: V – ciśnienie pary nasyconej, T – punkt potrójny (temperatura, w której faza stała, ciekła i gazowa znajdują się w stanie równowagi), G – punkt realizowany z zastosowaniem termometru gazowego, M, F – punkt topnienia, punkt krzepnięcia odpowiednio (temperatura, przy ciśnieniu 101325 Pa, w której faza stała i ciekła znajdują się w stanie równowagi).

wadzenie pięciu nowych punktów stałych (punkt potrójny neonu, punkt potrójny rtęci, punkt topnienia galu, punkt krzepnięcia indu, punkt krzepnięcia aluminium, punkt krzepnięcia miedzi). Zmieniła wartości dziewięciu punktów stałych i wycofała dwa punkty stałe (punkt wrzenia neonu, punkt wrzenia tlenu).

MST-90 w odniesieniu do przyrządów interpolacyjnych ustaliła:

- dla zakresu od 0,65 K do 5 K – dwa termometry kondensacyjne wykorzystujące zależność ciśnienia pary nasyconej ^3He i ^4H od temperatury,
- dla zakresu od 3 K do 24,5561 K – termometr gazowy o stałej objętości,
- dla zakresu od 13,8033 K (-259,3467 °C) do 1234,93 K (961,78 °C) – platynowy czujnik termometru rezystancyjnego,
- dla zakresu od 961,78 °C do 1084,62 °C – termometr radiacyjny.

Wzorzec jednostki temperatury

Charakterystyczną cechą wzorca jednostki temperatury o najwyższej jakości metrologicznej, służącego do odtwarzania międzynarodowej skali temperatury, jest znacząca liczba i różnorodność przyrządów oraz urządzeń pomocniczych wchodzących w jego skład. Ustalenia i zalecenia techniczne skali temperatury precyzują sposoby realizacji poszczególnych punktów stałych, jednakże w zakresie szczegółowych wykonań praktycznych pozostawiają obszar do dalszych prac. Konsekwencją tego jest stosowanie w Krajowych Instytucjach Metrologicznych (NMI), utrzymujących państwowe wzorce temperatury, oprócz aparatury wytwarzanej przez pojedynczych w skali światowej producentów, również unikalnych urządzeń i rozwiązań, powstałych w wyniku prowadzonych tam prac badawczo-rozwojowych.

Po etapie odtworzenia skali z zastosowaniem wzorca temperatury następuje nie mniej ważny etap utrzymania wzorca na poziomie co najmniej takim, jaki uzyskano w trakcie jego pierwotnego odtworzenia. Nie jest to zadanie łatwe do zrealizowania, biorąc pod uwagę specyfikę procesów cieplnych, ich dynamikę i wpływ na przyrządy i urządzenia wchodzące w skład wzorca. W konsekwencji obserwowane jest postępujące zużycie materiałów izolacyjnych urządzeń cieplnych, zużycie wzorcowych substancji poszczególnych punktów stałych, stopniowe zmiany ich składu chemicznego wynikające ze wzajemnego oddziaływania molekuł substancji wzorcowej, grafitu i kwarcu, zużycie przyrządów interpolacyjnych. Wszystkie te czynniki mają bezpośredni wpływ na zmiany stabilności parametrów wzorca i wymagają stałego monitorowania, poprzez badanie powtarzalności i odtwarzalności wzorca. Jeśli następują zmiany tych parametrów, wówczas konieczne są okresowe wymiany elementów wzorca.

Historia państwowego wzorca jednostki temperatury w kraju

Pierwsza realizacja międzynarodowej skali temperatury w Polsce odnosiła się do skali MST-27 i obejmowała zakres od 0 °C do 660 °C. Prace nad jej odtworzeniem zostały rozpoczęte w roku 1935 przez Zdzisława Gajewskiego, metrologa i popularyzatora wiedzy, który pod kierunkiem prof. J. Rolińskiego, kierownika Zakładu Naukowo-Metrologicznego, organizował pracownię termometryczną w ówczesnym Głównym Urzędzie Miar (GUM).

Skompletował on odpowiednie przyrządy wzorcowe, urządzenia podstawowe i pomocnicze (mostki kompensacyjne, piece, termostaty), często korzystając z pomocy warsztatów GUM. Dysponując odpowiednią aparaturą, niezbędną do przeprowadzania pomiarów, rozpoczął żmudne i trudne prace badawcze zmierzające do odtworzenia międzynarodowej skali temperatury, a tym samym realizacji i utrzymania państwowego wzorca jednostki temperatury. Wyniki przeprowadzonych prac zostały przedstawione przez autorów na IX Kongresie Fizyków Polskich w Wilnie w roku 1938, a rok później opublikowane w artykule o realizacji międzynarodowej skali temperatury w zakresie od 0 °C do 660 °C, w czasopiśmie naukowym *Acta Physica Polonica* – vol. VII, Wilno 1939 r.

Kolejne prace o charakterze badawczo-rozwojowym, dotyczące wzorca temperatury i odtwarzania skali, prowadzone były już w trudnym okresie powojennym. Realizowano je w ramach szerszego tematu „Odtwarzanie i przekazywanie MPST od wzorców państwowych i kontrolnych przyrządów pomiarowych w zakresie temperatury (-200 ÷ 2000) °C”, dotyczącego odtwarzania skal MPST-48 i MPST-68, z podziałem na etapy odnoszące się do zakresów pomiarowych i przyrządów odtwarzających te skale.

W zakresie odtworzenia skali poniżej 0 °C, prowadzono prace nad realizacją punktu wrzenia tlenu (-182,97 °C), stanowiącego dolną granicę MPST-48. Poszczególne elementy stanowiska pomiarowego wykonywano wg własnych projektów (bazując na dostępnej w tym okresie literaturze światowej), część z nich jeszcze przed 1963 r. Skala przedsięwzięcia była duża i wymagała współpracy ze specjalistami z Politechniki Warszawskiej oraz z Zakładu Aparatury Naukowej i Laboratoryjnej Pracowni Szklarskiej CUJiM. Ze względu na trudności w pozyskiwaniu niezbędnej aparatury do wysokiej próżni, zasadniczą część pracy realizowano od roku 1968 do 1971. W ramach tego etapu zbudowano stanowisko do produkcji i oczyszczania tlenu oraz stanowisko do realizacji punktu wrzenia tlenu metodą termometru kondensacyjnego. Do wytworzenia tlenu wykorzystano reakcję cieplnego rozkładu KMnO_4 . Obliczone błędy pomiarów z zastosowaniem czterech termometrów rezystancyjnych nie przekraczały wartości $\pm 5,0$ mK. Błędy te nie uwzględniały jednak wpływu zanieczyszczeń tlenu, którego czystość na tym etapie nie była badana.

Dla zakresu temperatury (0 ÷ 1100) °C, podzielonego zgodnie z ustaleniami MPST-48 (wyd. poprawione z 1960 r.) na dwa podzakresy, podzakres (0 ÷ 630) °C realizowany był z zastosowaniem platynowych termometrów rezystancyjnych, a podzakres (630 ÷ 1100) °C realizowany był z zastosowaniem termoelementów. Zasadniczą część prowadzonych wówczas prac stanowiło doskonalenie istniejącego podstawowego wzorca jednostki temperatury. Dzięki wprowadzeniu do praktyki stosowania punktu krzepnięcia cynku (zdefiniowanego jako 419,505 °C), punktu potrójnego wody, który zastąpił punkt topnienia lodu, oraz punktu wrzenia wody, osiągnięto błędy wzorcowania platynowych termometrów rezystancyjnych, pracujących na stanowisku wzorca podstawowego temperatury, w granicach $\pm(0,7 \div 2,3)$ mK.

Inne prace laboratorium, dotyczące wzorca temperatury, skupiały się na ulepszaniu urządzeń cieplnych (pieców pionowych, termostatów) służących do uzyskiwania jednorodnego pola temperatury. Założenia konstrukcyjne do pieców, w których realizowane były punkty krzepnięcia metali, oparte były na dostępnych wówczas publikacjach technicznych oraz informacjach uzyskanych w trakcie praktyk w zagranicznych instytucjach metrologicznych. Prototypy konstruowane w laboratorium stanowiły podstawę do wielokrotnych eksperymentów ustalających optymalne położenie bloków niklowych wyrównujących pole

temperatury, położenie tygli grafitowych oraz odpowiednią ilość i położenie uzwojeń grzejnych pieców. W latach 1966 – 1967 w oparciu o konstrukcję pieca stosowanego w National Physical Laboratory (NPL) w Anglii uzyskano bardzo dobrą odtwarzalność pomiarów dla punktu cynku. Potwierdziły to wyniki porównań międzynarodowych dla platynowych termometrów rezystancyjnych, przeprowadzonych w krajach należących do ówczesnego RWPG.

W zakresie wyższych temperatur, odtwarzanych z zastosowaniem termoelementów, prace konstrukcyjne pozwoliły na przygotowanie termoelektrycznego wzorca grupowego do ustanowienia go jako wzorzec państwowy w zakresie temperatury ($630,5 \div 1063$) °C, obejmującego punkty stałe antymonu, srebra, złota i miedzi. W związku z tymi przygotowaniami, w latach 1963 – 1965, badano i wzorcowano trzy termoelementy PtRh-Pt (typ S) w punktach stałych cynku, antymonu, srebra, złota i miedzi oraz porównywano ich charakterystyki termometryczne, uzyskane w laboratorium oraz w Instytucie Metrologicznym im. Mendelejewa w Leningradzie (VNIIM). Następnie otrzymane wyniki porównywano z charakterystyką innego termoelementu tego samego typu, wywzorcowanego w NPL (Anglia). Rezultaty porównań stanowiły praktyczne potwierdzenie wprowadzenia w Polsce skali MPST-48 (wydanie poprawione z 1960 r.), a ich analiza była podstawą do ustalenia ówczesnego układu sprawdzań „narzędzi” do pomiaru temperatury w ww. zakresie.

Podsumowanie rezultatów powyższych prac dawało podstawy do określenia kierunku dalszego rozwoju laboratorium GUM, którego cel, realizowany w kolejnych etapach, precyzowano jako poprawienie dokładności wzorca państwowego. Działania, które zaplanowano podjął to: przebudowa pieców dla uzyskania lepszych warunków termicznych, przeprowadzenie analizy czystości metali wzorcowych i ich wymiana, wprowadzenie zmian w osłonach zewnętrznych czujników termoelektrycznych.

Tuż po wprowadzeniu skali MPST-68, zadania laboratorium dotyczące jej wdrożenia, wynikały z istniejących rozbieżności w stosunku do skali MPST-48. Zmieniły się, z wyjątkiem punktu potrójnego wody i punktu wrzenia wody, wartości wszystkich pozostałych punktów stałych, jak również wzory interpolacyjne, powodując konieczność stosowania bardziej skomplikowanej techniki obliczeniowej. Zaostrzone zostały wymagania dla czystości platyny termometru rezystancyjnego. Pociągało to za sobą konieczność prowadzenia długoterminowych działań, zarówno technicznych, jak i związanych z nowelizacją przepisów i instrukcji dotyczących przyrządów do pomiaru temperatury oraz polskich norm z zakresu termometrii.

Kierunek prac technicznych laboratorium, po roku 1970, dotyczył zwiększenia czystości metali zastosowanych do realizacji punktów stałych cynku i cyny do 6N (99,9999 %), kontynuacja prac nad punktem wrzenia wody (100 °C), który skala MPST-68 pozostawiła do stosowania zamiennie z punktem topnienia cyny (231,9681 °C) oraz zwiększenie dokładności układu elektrycznego poprzez eliminację zakłóceń w układzie pomiarowym mostka rezystancyjnego (wówczas mostek Smith'a). Znaczącym osiągnięciem laboratorium, w początkach lat 70., była realizacja punktów stałych antymonu i srebra metodą tygła zamkniętego. Rezultat tego był wymierny – spowodował trzykrotne zmniejszenie błędu pomiaru dla termoelektrycznego wzorca podstawowego temperatury w zakresie ($630 \div 961$) °C. W zakresie niskich temperatur, dla odtworzenia punktu potrójnego argonu, stosowanego zamiennie z punktem wrzenia tlenu, opierano się na współpracy dwustronnej z Państwowym Instytutem Metrologii w Paryżu (INM). W ramach tej współpracy odbył się staż naukowy

pracownika laboratorium, jak również uruchomiono stanowisko do odtwarzania punktu potrójnego argonu i przeprowadzono porównania międzynarodowe. Odtwarzany wówczas w laboratorium zakres wzorca jednostki temperatury obejmował przedział od punktu wrzenia tlenu ($-182,962\text{ }^{\circ}\text{C}$), a po roku 1980 – od punktu potrójnego argonu ($-189,352\text{ }^{\circ}\text{C}$), do punktu krzepnięcia złota ($1064,43\text{ }^{\circ}\text{C}$) i stanowił źródło spójności pomiarowej dla najczęściej stosowanego zakresu temperatury w polskiej gospodarce.

Prace nad realizacją MPST-68 poniżej punktu wrzenia tlenu ograniczały się do współpracy z Instytutem Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu (INTiBS). Zakres tej współpracy stopniowo poszerzał się i zaowocował ustanowieniem w INTiBS państwowego wzorca jednostki temperatury w zakresie od $13,8033\text{ K}$ do $273,16\text{ K}$.

W Laboratorium Pomiarów Temperatury GUM prowadzono również prace badawcze, które wykraczały poza obszar obowiązującej skali temperatury i były pracami prekursorскими w skali międzynarodowej. Zapoczątkowane jeszcze w latach sześćdziesiątych autorskie prace konstrukcyjne i wdrożeniowe dotyczące punktu krzepnięcia sodu, wykorzystywanego zamiennie z punktem wrzenia wody, zaowocowały wyznaczeniem temperatury krzepnięcia jako $(97,83 \pm 0,02)\text{ }^{\circ}\text{C}$. Wyniki tych prac, przedstawione w liście do Prezydenta Międzynarodowego Komitetu Miar w październiku 1979 r., opublikowano w dokumentach Komitetu Doradczego Termometrii (jako CCT/80-1). Stanowiły również źródło powoływania, przez uznanych autorów zagranicznych, w publikacjach międzynarodowych.

Państwowy wzorzec jednostki temperatury po roku 1990

Po roku 1990 kierunek prac dotyczących wzorca jednostki temperatury został zdefiniowany ilością zmian wprowadzonych skalą MST-90. Wymuszały one uzupełnienie aparatury pomiarowej pozwalającej na odtworzenie aż czterech nowych punktów stałych. Były to: punkt potrójny rtęci, punkt topnienia galu, punkt krzepnięcia indu, punkt krzepnięcia aluminium. Ich wdrażanie do praktyki odbywało się w toku długotrwałych prac badawczych, specyficznych dla procesów cieplnych. Duża bezwładność cieplna urządzeń termostatyzujących (pieców i termostatów), niezbędna do uzyskiwania maksymalnej jednorodności temperatury w studniach pomiarowych, determinowała czas trwania procesów realizacji poszczególnych punktów stałych. Etap optymalizacji przebiegu tych procesów, poprzez dobór odpowiednich wartości parametrów regulatorów temperatury, jest rozciągnięty w czasie i dotyczy każdego punktu stałego oraz każdej komórki oddzielnie. Poprawne zakończenie tego etapu pozwala na uzyskiwanie wystarczająco długiego przystanku temperatury, tzw. plateau, dochodzącego nawet do 10 godzin. Długość tego przystanku, wartości rozrzutu temperatury w trakcie jego trwania i odtwarzalność w czasie (podczas kolejnych realizacji) jest wymiernym wskaźnikiem poprawnej realizacji punktu stałego oraz wystarczającej czystości zastosowanej substancji komórki.

W trakcie odtwarzania punktów stałych MST-90 opierano się na dokumentach uzupełniających do skali temperatury. Są to dokumenty opracowane przez dwie Grupy Robocze Komitetu Doradczego ds. Termometrii (WG1 i WG2 CCT), wydane przez BIPM: „Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990”, „Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990” .

Aktualnie utrzymywany w Laboratorium Temperatury Zakładu Fizykochemii GUM państwowy wzorzec jednostki temperatury w zakresie od $-189,3442\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $961,78\text{ }^{\circ}\text{C}$, uznany decyzją nr UW 12/2003 z dnia 5 maja 2003 r. na podstawie rozporządzenia Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 30 stycznia 2003 r. w sprawie uznawania wzorców jednostek miar za państwowe wzorce jednostek miar, posiada świadectwo państwowego wzorca jednostki miary nr 12 z dnia 28 lipca 2003 r., podpisane przez Prezesa Głównego Urzędu Miar. Zgodnie z aktualnie obowiązującymi przepisami wzorzec ten posiada dokumentację składającą się z księgi państwowego wzorca jednostki temperatury, dokumentacji technicznej wzorca, instrukcji obsługi wzorca. Elementami składowymi tego wzorca są:

- zespół komórek punktów stałych temperatury Ar, Hg, H_2O , Ga, In, Sn, Zn, Al, Ag (wraz z urządzeniami termostatyzującymi),
- zespół platynowych czujników termometrów rezystancyjnych (SPRT),
- mostek prądu zmiennego,
- zespół oporników wzorcowych (wraz z urządzeniami termostatyzującymi).



Komórki do realizacji punktu potrójnego wody ($0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$) z widocznym płaszczem lodu



Komórki do realizacji punktów krzepnięcia indu ($156,5985\text{ }^{\circ}\text{C}$) i cyny ($231,928\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Wiarygodność wzorca temperatury opiera się na spełnieniu wymagań, stawianych wzorcom państwowym, do których należą:

- uczestnictwo wzorca w porównaniach międzynarodowych, kluczowych i uzupełniających oraz objęcie stanowiska pomiarowego tego wzorca systemem zarządzania, pozwalającym na spełnienie wymagań porozumienia MRA,
- utrzymywanie wzorca na poziomie odpowiadającym wzorcom państwowym innych krajów, zgodnie z wymaganiami technicznymi Międzynarodowej Skali Temperatury z 1990 r. oraz dokumentami związanymi, wydawanymi przez Międzynarodowe Biuro Miar (BIPM).

Potwierdzanie parametrów metrologicznych wzorca GUM ma miejsce poprzez udział w porównaniach międzynarodowych, które w latach 2001 – 2008 dotyczyły:

- EUROMET 549 „Porównania komórek do realizacji punktu potrójnego wody”,
- EUROMET 502 „Porównania komórek do realizacji punktu potrójnego argonu”,
- EUROMET.T-K3 (EUROMET 552) „Porównania realizacji MST-90 w zakresie od 83,805 K do 692,677 K”,
- EUROMET 712 „Porównania komórek do realizacji punktu stałego indu”,
- EUROMET.T-K4 (EUROMET 820) „Porównania realizacji MST-90 w punktach krzepnięcia Al (660,323 °C) i Ag (961,78 °C)”,
- EUROMET.T-K7 (EUROMET 899) „Porównania komórek punktu potrójnego wody”,
- EUROMET.T-K7.1 „Porównania komórek punktu potrójnego wody – porównania uzupełniające”.

Prowadzone są również regularne krajowe porównania międzylaboratoryjne z Instytutem Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu (INTiBS), utrzymującym wzorzec państwowy jednostki temperatury w zakresie od 13,8033 K do 273,16 K, potwierdzające wiarygodności obu wzorców. Współpraca merytoryczna z INTiBS dotyczy również wymiany doświadczeń w zakresie rozwiązań konstrukcyjnych stanowisk wzorców, metod pomiarowych oraz szacowania niepewności.



Piec do realizacji punktów krzepnięcia Ag, Al i Zn oraz mostek rezystancyjny

Podsumowanie

Właściwy poziom utrzymania wzorca oznacza stałą modernizację oraz doskonalenie go poprzez wymianę przestarzałych technologicznie elementów, poszukiwanie nowych rozwiązań zmniejszających niepewność pomiaru, monitorowanie stopnia zużycia komórek punktów stałych i ich wymiana oraz badanie powtarzalności i odtwarzalności wzorca. Aktualnie trwająca modernizacja wzorca dotyczy również akwizycji, rejestrowania i archiwizowania danych wykorzystywanych później na potrzeby zarówno wzorcowań jak i porównań. Planowany na najbliższe lata kolejny etap modernizacji polegał będzie na zamianie dotychczas stosowanego mostka rezystancji na bardziej precyzyjny, wymianie zużytych komórek punktów stałych oraz na uzupełnieniu stanowiska o piec typu „heat pipe” i wysoko-precyzyjne czujniki SPRT.

Zakres pomiarowy wzorca temperatury utrzymywanego w GUM, stanowiącego źródło spójności pomiarowej dla laboratoriów wzorcujących, badawczych oraz bezpośrednich użytkowników przyrządów, odzwierciedla zapotrzebowanie społeczne wynikające z obserwowanej liczby wzorcowań oraz zmian w gospodarce. Szacuje się, że temperatura jest najczęściej mierzoną wielkością fizyczną (ponad 50 % pomiarów wszystkich wielkości fizycznych). Stąd zapotrzebowanie społeczne w kraju na wiarygodnie przeprowadzane pomiary temperatury jest duże i dotyczy prawie wszystkich dziedzin gospodarki. Pomiary temperatury są obecne podczas realizacji procesów produkcyjnych w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym, chemicznym, przemyśle ciężkim (lotnictwo, transport, hutnictwo, itp.), jak również w realizacji usług medycznych, kosmetycznych, cateringowych, restauracyjnych, transportowych. Pomiary wykonywane są tam zarówno w ramach monitorowania temperatury realizacji procesów technologicznych, np. utrzymania dopuszczalnych reżimów rozgrzewu elementów powierzchni trących, w układach sterujących z wyłącznikami temperaturowymi, jak i monitorowania warunków środowiskowych podczas przechowywania i transportowania produktów (żywności – w szpitalach, stołówkach, restauracjach lub preparatów chemicznych, farmaceutyków, kosmetyków). Ze względu na aktualnie obserwowane wdrażanie nowych regulacji prawnych oraz coraz częściej stosowane systemy zarządzania jakością, obserwuje się również tendencję do zwiększania liczby wymaganych wzorcowań i pomiarów temperatury.

Elżbieta Grudniewicz