



Główny
Urząd
Miar

dokładnie
100 lat
1919-2019

TERMO METRIA

PRZEWODNIK PO DZIEDZINIE



gum.gov.pl

Autorzy: Rafał Jarosz
Marek Kozicki

Redaktor: Paweł Fotowicz

Zdjęcia: Archiwum GUM



ul. Elektoralna 2
00-139 Warszawa
Godziny pracy: 8:00-16:00

tel. 22 581 93 99 (centrala)
fax: 22 581 93 92
e-mail: gum@gum.gov.pl

Materiał opracowano w Biurze Strategii Głównego Urzędu Miar.

Główny Urząd Miar (GUM) jest krajową instytucją metrologiczną. Działa na rzecz zagwarantowania zdolności pomiarowych niezbędnych dla zrównoważonego rozwoju gospodarki, zapewnienia odpowiedniego poziomu jakości życia społeczeństwa oraz zabezpieczenia interesów obywateli.

Zadania GUM obejmują szerokie spektrum zagadnień związanych z metrologią, jednostkami miar, ich definicjami, jak również zaawansowanymi technologicznie wzorcami pomiarowymi oraz tematyką ochrony bezpieczeństwa gospodarczego i technicznego państwa.

Spis treści

I	Wstęp	5
II	Potrzeby społeczne i gospodarcze	5
III	Historia rozwoju dziedziny w Głównym Urzędzie Miar	10
IV	Plan rozwoju dziedziny w GUM	14
V	Krajowy system metrologiczny dotyczący dziedziny	20
VI	Wykaz dokumentów związanych z dziedziną	24
VII	Wykaz publikacji pracowników GUM związanych z dziedziną w latach 2006–2016	26
	Załącznik: Stanowiska pomiarowe	28

I Wstęp

Termometria to dziedzina metrologii zajmująca się pomiarami temperatury i powiązanych z nią wielkości. Obejmuje szereg zagadnień związanych z pomiarami, takimi jak skale i jednostki temperatury, techniki i metody pomiaru, budowa przyrządów i metody ich wzorcowania. Oprócz pomiarów temperatury termometria zajmuje się również pomiarami temperatury punktu rosy/szronu, wilgotności względnej, jak również wielkości opisujących termofizyczne właściwości różnych materiałów takich jak przewodność czy pojemność cieplna.

W międzynarodowej nomenklaturze metrologicznej dziedzina Termometrii oznaczana jest symbolem T, od pierwszej litery angielskiego określenia czyli thermometry.

W strukturze organizacyjnej GUM dziedziną zajmuje się Samodzielne Laboratorium Termometrii, dawniej Laboratorium Temperatury i Laboratorium Wilgotności Zakładu Fizykochemii.

II Potrzeby społeczne i gospodarcze

1. Potrzeby zidentyfikowane międzynarodowo

Dokument strategiczny dla programu rozwoju termometrii na lata 2013–2023, opracowany przez komitet doradczy CCT przy BIPM oraz Mapa drogowa dla termometrii opracowana w EURAMET identyfikują zasadnicze wyzwania, przed którymi stoi świat i na które wpływ ma termometria. Zaliczyć do nich można:

- globalne ocieplenie – ograniczenie emisji dwutlenku węgla, przejście do gospodarki o niskiej emisji dwutlenku węgla, poprawę sposobów monitorowania w perspektywie krótko i średnio-termiowej;
- optymalizację produkcji – w szczególności zwiększenie konkurencyjności poprzez optymalne wykorzystanie zasobów (surowców i energii) oraz poprawę kontroli procesów w celu umożliwienia wytwarzania z jak najmniejszą ilością odpadów (dążenie do efektu „zero odpadów”) i poprawioną jakością produktów;
- dokładne dane oraz kontrolę wilgotności, która pozwoli zoptymalizować procesy grzania, utwardzania, suszenia i inne procesy obróbki cieplnej obejmujące transfer wody, wpływając również na właściwości cieplne izolacji i materiałów budowlanych;
- energię (zasilanie i bezpieczeństwo) – poprzez wspieranie zrównoważonego wytwarzania, zwiększenie ilości energii ze źródeł odnawialnych i metod z niską generacją dwutlenku węgla (np. jądrowe, składowanie dwutlenku węgla) w bilansie energetycznym i wspieranie działań służących wydajności energetycznej poprzez poprawę efektywności cieplnej i wykorzystania energii;
- monitorowanie i kontrolowanie zawartości wilgoci, które odgrywają kluczową rolę w optymalizacji stałych i ciekłych biopaliw;

- zdrowie, bezpieczeństwo i ochronę – zaawansowane spójne pomiary temperatury, na przykład w szpitalach dla bezpiecznych aktywnych terapii termicznych (np. terapia – ablacja raka) oraz w miejscach dostępu (budynki i ludzie) w przypadku kontroli pandemii;
- wilgotność dotyczącą fizycznych, chemicznych lub biologicznych oddziaływań materiałów z wodą, jak również rozpatrywanie optycznych, elektrycznych, termicznych i innych właściwości gazów;
- klimat i meteorologię, zwłaszcza w kontekście zmian klimatycznych. Ostatnio powstała znacząca współpraca z IAPWS, aby działać na rzecz uniwersalnych definicji wielkości mierzonych, takich jak wilgotność względna, które do tej pory nie są spójne w całej dziedzinie. Współpraca jest szczególnie zgodna z potrzebami w obserwacji i modelowania warunków wilgotności gruntów i powierzchni morza;
- wiarygodność wartości termofizycznych właściwości materiałów – szczególnie ważna dla redukcji globalnego zużycia energii. Oczekuje się, że poprawa izolacji budynków, domów, lodówek, pieców, kotłów, rurociągów i zakładów chemicznych zmniejszy ogromną ilość strat ciepła na świecie. Przewodność cieplna jest bezpośrednim wskaźnikiem wydajności materiałów izolacyjnych, a znaczenie oznaczeń gęstości strumienia ciepła wzrośnie, ponieważ jest bezpośrednim wskaźnikiem utraty ciepła (zainteresowanie w budownictwie mieszkaniowym, produkcji urządzeń elektrycznych dla domu i przemysłu, przemyśle materiałów i inżynierii chemicznej);
- zwiększoną dokładność danych dotyczących wilgotności powietrza, która pozwoli na dokładniejsze tworzenie modeli klimatycznych profili pionowych;
- efektywne wykorzystanie energii elektrycznej, które może również zmniejszyć emisję dwutlenku węgla. Jedną z kluczowych technologii jest energoelektronika do kontroli prądu falowników, układy przenoszenia napędu samochodów hybrydowych pojazdów elektrycznych i pociągów elektrycznych. Duża przewodność cieplna jest niezbędna w celu zmniejszenia przegrzania urządzeń elektroenergetycznych w pracy przy dużym obciążeniu. Kluczowymi wielkościami są również rozszerzalność cieplna, czy rozpraszanie ciepła przez radiatory;
- rozwój zaawansowanych technologii przemysłowych, takich jak wysoce zintegrowane urządzenia elektryczne, dyski optyczne, dyski magneto-optyczne i urządzenia termoelektryczne. Znajomość wartości właściwości termofizycznych cienkich warstw jest wymagana dla niezawodnej konstrukcji termicznej.

W 2019 roku planowana jest redefinicja podstawowej jednostki temperatury – kelwina. Polegać ona będzie na uniezależnieniu jego wartości od temperatury punktu potrójnego wody, która jest zależna m.in. od składu izotopowego wody, w powiązaniu ze stałą Boltzmanna. Obecnie w wielu laboratoriach na świecie prowadzone są prace nad wystarczająco dokładnym określeniem wartości tej stałej. Rozwijany jest przy tym szereg nowych rodzajów termometrów gazowych, których metody pomiarowe opierają się o prawa termodynamiki. Nowa wersja MeP-K będzie je uwzględniać. Jednakże dotychczas stosowana Międzynarodowa Skala Temperatury z 1990 roku (ITS-90) nadal będzie obowiązywać, ze względu na łatwość realizacji oraz przekazywania jednostki. W związku z tym równolegle prowadzi się prace nad dokładnym wyznaczeniem różnic między ITS-90 i skalą temperatury termodynamicznej.

Zmiana definicji kelwina stawia przed GUM następujące zadania:

- ciągły rozwój metody punktów stałych wg. ITS-90, poprawę możliwości pomiarowych,
- w dalszej perspektywie utworzenie w GUM termodynamicznego wzorca kelwina.

2. Potrzeby krajowe

Kontakty Laboratorium Temperatury oraz Laboratorium Wilgotności z krajowym przemysłem opierają się jedynie na kontaktach z odbiorcami realizowanych w GUM usług metrologicznych. Z tego powodu trudne jest precyzyjne określenie potrzeb przemysłu w obszarze pomiarów temperatury i wilgotności. Poniżej przedstawiono najważniejsze problemy w tym obszarze.

Infrastruktura techniczna i aparatura pomiarowa

Infrastruktura metrologiczna kraju powinna odpowiadać rosnącym potrzebom dotyczącym termometrii w gospodarce. Możliwości pomiarowe stanowisk przechowywanych w GUM powinny nadążać za zgłaszanym zapotrzebowaniem w tym zakresie. W bazie Polskiego Centrum Akredytacji odnotowanych jest 36 laboratoriów akredytowanych w obszarze termometrii, w tym pięć OUM. Wydaje się, że zakres usług metrologicznych w dziedzinie termometrii w większości odpowiada aktualnym potrzebom przemysłu.

Zasadniczo potrzeby dotyczą ciągłej poprawy zdolności pomiarowych, zwłaszcza dotyczących wzorcowania termoelementów i wzorcowania termometrów metodą porównawczą. Jednak zaczyna ujawniać się brak termometrii radiacyjnej w GUM. Ze względu na wysokie koszty wyposażenia zaprzestano rozwoju tej dziedziny kilkanaście lat temu. Coraz większa popularność urządzeń do bezstykowych pomiarów temperatury rodzi potrzebę budowy infrastruktury w tym zakresie. Kilka laboratoriów w Polsce świadczy usługi wzorcowania pirometrów i kamer termowizyjnych, jednak spójność pomiarową czerpie z innych NMI.

Ochrona środowiska i badanie zmian klimatycznych

Dokładniejsze pomiary parametrów klimatu wpływają korzystnie na modelowanie układów klimatycznych, co w konsekwencji prowadzi do pośredniego wpływu na ograniczenie globalnego ocieplenia. Istotna jest współpraca w tym sektorze, w celu rozszerzenia dokładności pomiaru temperatury i wilgotności.

Medycyna

Produkty medyczne, takie jak leki i szczepionki, wymagają kontrolowania temperatury powietrza jak i wilgotności względnej podczas produkcji, transportu i przechowywania. Ma to ogromny wpływ na ludzkie zdrowie. Przeprowadzenie badań odtwarzalności, powtarzalności, wpływu innych źródeł błędów na pomiar torów temperatury i wilgotności pozwoli na określenie i zdefiniowanie szczegółowych wymagań stawianych układom pomiarowym, a także zapewni wysoki poziom bezpieczeństwa podczas przyjmowania produktów medycznych.

Przemysł obronny

Procesy wytwarzania materiałów wybuchowych w szerokim zakresie opierają się na zastosowaniu odpowiednich zakresów temperatury. Używanie w czasie takich procesów termometrów z odpowiednią dokładnością zapewni otrzymanie materiałów wybuchowych o większej czystości, z większą wydajnością. Monitorowanie temperatury procesu zapewnia także bezpieczeństwo pracowników, ponieważ zmniejsza ryzyko niepożądanych reakcji czy wybuchu. Wytwarzanie produktów zbrojeniowych wymaga środowiska o niskiej zawartości pary wodnej w powietrzu, co narzuca obowiązek kontroli parametrów temperatury i wilgotności w ekstremalnych zakresach.

Przemysł paliwowo-energetyczny

Istotnym zagadnieniem dla tego segmentu przemysłu jest zrównoważenie energii, czy zrównoważenie otrzymywania paliw. Ważne jest, aby w procesie przetwórczym były jak najmniejsze straty. Kluczowym elementem diagnostycznym w tym przemyśle są pomiary temperatury. Wykorzystuje się je w bardzo szerokim zakresie. Głównymi zagadnieniami, które wymagają szukania odpowiednich rozwiązań i w których GUM może pomóc, są działania w zakresie poprawy efektywności energetycznej, poprzez optymalizację pewnych procesów z wykorzystaniem bardzo dokładnych pomiarów temperatury. Wpłynie to na poprawę sprawności cieplnej oraz zrównoważy wykorzystanie energii cieplnej. Drugim zagadnieniem jest szukanie rozwiązań dla dynamicznego pomiaru temperatury. Opracowanie takiej metody także wpłynie na poprawę wydajności wytwarzania energii czy paliw. Proces przeróbki ropy naftowej rozpoczyna się w niskich temperaturach (od 0 °C), a kończy powyżej 580 °C. Zastosowanie odpowiednich rozwiązań temperaturowych pozwoli na zwiększenie wydajności procesów oraz zmniejszy emisję szkodliwych gazów do atmosfery.

W przypadku szeroko stosowanego węgla brunatnego, jako źródła energii, bardzo ważnym jest zagadnienie zawartości wilgoci (użycie węgla brunatnego do celów energetycznych wiąże się z koniecznością odparowania wilgoci).

Przemysł przetwórczy

Przetwórstwo występuje w różnych gałęziach przemysłu, np. w przemyśle chemicznym, metalurgicznym, spożywczym, kosmetycznym, farmaceutycznym, ceramicznym czy szklarskim. W segmentach tych wykorzystuje się różnego rodzaju czujniki i różnego rodzaju rozwiązania temperaturowe. W wymienionych gałęziach przemysłu wykorzystuje się szeroki zakres temperatury (od niskich do bardzo wysokich). GUM może nawiązać współpracę w celu zapewniania spójności pomiarowej dla szerokiego zakresu temperatur. Nasza wiedza może zostać wykorzystana przy doborze odpowiednich czujników czy rozwiązań technicznych. Zapewnienie dokładnych pomiarów temperatury wpływa na wydajność procesów, czystość otrzymywanych surowców, pozwala na zmniejszenie kosztów produkcji (mniej odpadów, mniejsze zużycie energii czy surowców wyjściowych). Optymalizacja tych zagadnień może wpłynąć również na konkurencyjność przemysłu polskiego na rynku europejskim.

Przechowywanie surowców wyjściowych w przemyśle produkcyjnym w odpowiednich warunkach wilgotności względnych wpływa na końcową jakość tych produktów. Wskazany jest udział w budowie układów regulujących temperaturę, jak i wilgotność oraz wzrost dokładności tych pomiarów.

Produkcja urządzeń do pomiaru temperatury i wilgotności

Dysponowanie przyrządami pomiarowymi oraz stanowiskami pomiarowymi z najlepszą możliwością pomiarową w kraju daje szansę udziału w przeprowadzaniu różnego rodzaju badań metrologicznych (badanie charakterystyk, wpływu wielkości ze sobą skorelowanych, histerezy, wpływ źródeł błędów) dla nowych czujników pochodzących z przemysłu krajowego.

III Historia rozwoju dziedziny w Głównym Urzędzie Miar

Pierwsza realizacja międzynarodowej skali temperatury w Polsce odnosiła się do 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 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 miary 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 $(-200 \div 2000)^{\circ}\text{C}$ ”, 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 ($-182,97^{\circ}\text{C}$), 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 rokiem. Skala przedsięwzięcia była duża i wymagała współpracy ze specjalistami z Politechniki Warszawskiej oraz z Zakładu Aparatury Naukowej i Laboratoryjnej i Pracowni Szklarskiej CUJiM. Ze względu na trudności w pozyskaniu niezbędnej aparatury do wysokiej próżni, zasadniczą część pracy realizowano w latach od 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 . Uzyskane błędy pomiarów z zastosowaniem 4 termometrów rezystancyjnych nie przekraczały wartości $\pm 5,0 \text{ mK}$. Błędy te nie uwzględniały jednak wpływu zanieczyszczeń tlenu, którego czystość na tym etapie nie była badana.

Dla zakresu temperatury od 0°C do 1100°C , podzielonego, zgodnie z ustaleniami MPST-48 (wyd. poprawione z 1960 r.), na dwa podzakresy, tj. $(0 \div 630)^{\circ}\text{C}$, realizowany z zastosowaniem platynowych termometrów rezystancyjnych i podzakres $(630 \div 1100)^{\circ}\text{C}$, realizowany 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 $419,505^{\circ}\text{C}$) wraz z punktem potrójnym wody, który zastąpił punkt topnienia lodu i punktem wrzenia wody, osiągnięto błędy wzorcowania

platynowych termometrów rezystancyjnych, pracujących w 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, realizujące 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, tyglów grafitowych, 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 powtarzalność pomiarów dla punktu cynku, potwierdzoną wynikami 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 wzorca państwowego w zakresie temperatury od 630,5 °C do 1063 °C, obejmującym punkty stałe antymonu, srebra, złota i miedzi. W związku z tym 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 przez ich wzorcowanie w laboratorium oraz w Instytucie Metrologicznym im. Mendelejewa w Leningradzie (VNIIM). Następnie wyniki uzyskane dla tych termoelementów porównywano z charakterystyką innego termoelementu tego samego typu, wywzorcowanego w NPL. Uzyskane wyniki 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 tym zakresie.

Podsumowanie wyników tych prac dawało podstawy do określenia kierunku dalszego rozwoju laboratorium GUM, których cel, realizowany w kolejnych etapach, precyzowano jako podwyższenie dokładności wzorca państwowego. Działania, które zaplanowano podjąć 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 długoczasowych 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 cyny (231,9681 °C), zwiększenie dokładności układu elektrycznego, poprzez eliminację zakłóceń w układzie pomiarowym mostka rezystancyjnego (wówczas mostek Smith’a).

Znaczącym osiągnięciem laboratorium, w początkach lat siedemdziesiątych, była realizacja punktów antymonu i srebra ($961,93^{\circ}\text{C}$), metodą tygla zamkniętego. Rezultat tego był wymierny. Spowodował trzykrotne zmniejszenie błędu pomiaru dla termoelektrycznego wzorca podstawowego temperatury w zakresie ($630 \div 961$) $^{\circ}\text{C}$. Odtwarzany wówczas w laboratorium zakres wzorca jednostki temperatury obejmował przedział od punktu wrzenia tlenu ($-182,962^{\circ}\text{C}$), a po roku 1980 od punktu potrójnego argonu ($-189,352^{\circ}\text{C}$), do punktu krzepnięcia złota ($1064,43^{\circ}\text{C}$) i stanowił źródło spójności pomiarowej dla najczęściej stosowanego zakresu temperatury w polskiej gospodarce. W zakresie niskich temperatur, dla odtworzenia punktu potrójnego argonu, stosowanego zamiennie do punktu wrzenia tlenu, opierano się na współpracy dwustronnej z Państwowym Instytutem Metrologii w Paryżu (LNE), w ramach której zrealizowano: staż naukowy pracownika laboratorium, uruchomiono stanowisko do odtwarzania punktu potrójnego argonu oraz przeprowadzono porównania międzynarodowe.

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 miary temperatury w zakresie temperatury od 13,8033 K do 273,16 K.

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

Po roku 1990 kierunek prac dotyczących wzorca jednostki temperatury został zdeterminowany 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 oraz punkt krzepnięcia aluminium. Ich wdrażanie do praktyki odbywało się w toku długotrwałych i żmudnych prac badawczych, specyficznych dla procesów cieplnych. Duża bezwładność cieplna urządzeń termostatuujących (pieców i termostatów), niezbędna do uzyskiwania maksymalnie możliwej 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 i 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. Są to dokumenty opracowane przez dwie Grupy Robocze Komitetu Doradczego Termometrii (WG1 i WG2 CCT), wydane przez BIPM: „Supplementary Information for The

International Temperature Scale of 1990” oraz „Techniques for Approximating The International Temperature Scale of 1990”.

W 1956 roku utworzono Laboratorium Wilgotności w Zakładzie Aparatury Laboratoryjno-Naukowej. 1 września 1961 r. powstaje Zakład Fizykochemii z 9 Laboratoriami, a wśród nich Laboratorium Pomiarów Wilgotności. W 1978 roku następuje przekształcenie Zakładu Metrologicznego Fizykochemii w Polskim Komitecie Normalizacji i Miar (PKNiM) w Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Wzorców Materiałów (COBR WZORMAT). W 1994 roku następuje likwidacja WZORMAT-u i utworzenie Zakładu Fizykochemii w Głównym Urzędzie Miar.

IV Plan rozwoju dziedziny w GUM

1. Infrastruktura metrologiczna

Obecna infrastruktura dostępna w Pracowni Temperatury jest nastawiona głównie na przekazywanie jednostki miary temperatury poprzez utrzymywanie wzorców i wzorcowanie przyrządów pomiarowych. Poniżej wymieniono istniejące obecnie stanowiska pomiarowe.

- Stanowisko wzorca państwowego temperatury umożliwiające odtwarzanie jednostki temperatury w zakresie od $-189,3442^{\circ}\text{C}$ do $961,78^{\circ}\text{C}$. Składa się z:
 - szeregu komórek punktów stałych: punkt potrójny wody ($0,01^{\circ}\text{C}$), punkt potrójny argonu ($-189,3442^{\circ}\text{C}$), punkt potrójny rtęci ($-38,8442^{\circ}\text{C}$), punkt topnienia galu ($29,7646^{\circ}\text{C}$), punkt krzepnięcia indu ($156,5985^{\circ}\text{C}$), punkt krzepnięcia cyny ($231,928^{\circ}\text{C}$), punkt krzepnięcia cynku ($419,527^{\circ}\text{C}$), punkt krzepnięcia glinu ($660,323^{\circ}\text{C}$), punkt krzepnięcia srebra ($961,78^{\circ}\text{C}$),
 - urządzeń termostatuujących do realizacji powyższych punktów,
 - zestawu platynowych wzorcowych czujników termometrów rezystancyjnych (SPRT),
 - zestawu oporników wzorcowych o rezystancjach $1\ \Omega$, $2\ \Omega$, $5\ \Omega$, $10\ \Omega$, $25\ \Omega$ i $100\ \Omega$,
 - mostka rezystancyjnego prądu zmiennego.

Stanowisko służy do wzorcowania komórek punktów stałych i czujników SPRT.

- Stanowisko wzorca odniesienia temperatury umożliwiające odtwarzanie jednostki temperatury w zakresie od $419,527^{\circ}\text{C}$ do $1553,5^{\circ}\text{C}$. Składa się z:
 - szeregu komórek punktów stałych: punktu krzepnięcia cynku ($419,527^{\circ}\text{C}$), punktu krzepnięcia glinu ($660,323^{\circ}\text{C}$), punktu krzepnięcia srebra ($961,78^{\circ}\text{C}$), punktu krzepnięcia złota ($1064,18^{\circ}\text{C}$), punktu krzepnięcia miedzi ($1084,62^{\circ}\text{C}$),
 - drutu wzorcowego do realizacji punktu topnienia palladu metodą drutową ($1553,5^{\circ}\text{C}$),
 - urządzeń termostatuujących do realizacji powyższych punktów,
 - zestawu wzorcowych termoelementów typu S i B,
 - dwóch multimetrów.
- Stanowisko do wzorcowania termoelementów metodą porównawczą w zakresie od 500°C do 1100°C . Z uwagi na brak zapotrzebowania klientów nie jest używane do wzorcowania, lecz służy na potrzeby realizacji kursów metrologicznych. Składa się z:
 - pieca poziomego,
 - zestawu wzorcowych termoelementów typu S i B.
- Stanowisko do wzorcowania rezystancyjnych czujników platynowych, termistorów, termometrów elektronicznych i termometrów szklanych cieczowych. Na stanowisku stosowana jest metoda porównawcza w zakresie od -80°C do 550°C oraz metoda punktów stałych (punkt potrójny wody, punkt topnienia lodu, punkt wrzenia wody). Składa się z:
 - zestawu wzorcowych czujników SPRT,
 - zestawu wzorcowych termometrów szklanych cieczowych,
 - mostka rezystancyjnego,
 - opornika wzorcowego,
 - termostatu cieczowego,

- ebulioskopu,
- komórki punktu potrójnego wody.

Obecna infrastruktura dostępna w Pracowni Wilgotności jest nastawiona głównie na przekazywanie jednostki miary temperatury punktu rosy i wilgotności względnej poprzez utrzymywanie wzorców i wzorcowanie przyrządów pomiarowych. Poniżej wymieniono istniejące obecnie stanowiska pomiarowe.

Wzorce odniesienia:

- temperatury punktu rosy/szronu w zakresie od -80°C do 98°C ,
- wilgotności względnej w zakresie od 10 % do 98 % dla temperatur powietrza od -40°C do 95°C .

W Pracowni Wilgotności utrzymywane są następujące stanowiska pomiarowe:

- generatora dwustrumieniowego do wzorcowania przemysłowych higrometrów punktu rosy w zakresie od -80°C do 23°C ,
- generatora dwuciśnieniowego do wzorcowania termohigrometrów w zakresie od 10 % do 98 %,
- do wzorcowania wilgotnościomierzy do ziaren zbóż i nasion oleistych oraz oznaczania wilgotności ciał stałych metodami suszarkowo-wagowymi.

Bieżące plany związane z infrastrukturą metrologiczną:

- obniżenie wartości CMC w dziedzinie termoelementów,
 - prowadzenie badań i wprowadzenie do zakresu pomiarowego nowej metody pomiarowej dla termoelementów – metody drutowej punktu złota,
 - obniżenie (zmniejszenie) wartości CMC w dziedzinie termometrii rozszerzalnościowej i termometrii elektrycznej,
- rozwój wzorca wilgotności nasion oleistych, ziaren zbóż i ciał stałych,
- wymiana termostatu (calibration bath) w celu realizacji badań, wzorcowania na stanowiskach wzorców odniesienia,
- modyfikacja wzorca temperatury punktu rosy do wzorcowania przemysłowych higrometrów punktu rosy w zakresie od -80°C do 20°C ,
- planowanych jest również kilka mniejszych działań takich jak:
 - rozszerzenie dotychczasowego zakresu pomiarowego dla nowych wartości CMC odnośnie temperatury punktu rosy – zakończenie porównania P717,
 - wprowadzenie nowych wartości CMC w bazie KCDB dla wilgotności względnych – zakończenie porównań międzynarodowych P1189, P1352,
 - kontynuacja współpracy z czeskim CMI – budowa wzorca odniesienia temperatury punktu rosy w Brnie dla zakresu powyżej temperatury otoczenia,
 - prowadzenie badań i wprowadzenie do zakresu pomiarowego nowej metody wzorcowania komór klimatycznych.

2. Współpraca krajowa

W ostatnich latach GUM prowadził współpracę w dziedzinie termometrii w obszarze działań przedstawionych poniżej.

- Przeprowadzanie auditów dla laboratoriów wzorcujących z dziedziny temperatury i wilgotności. Ciągłe uczestniczenie w rozwoju dziedzin pomiarowych temperatury i wilgotności w laboratoriach badawczych i wzorcujących.
- Współpraca GUM z Instytutem Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu w obszarze temperatury – sięga pierwszej połowy lat 80. poprzedniego stulecia, kiedy wymieniano doświadczenia dotyczące odtwarzania punktu potrójnego argonu, definicyjnego punktu stałego obowiązującej wówczas międzynarodowej skali temperatury MST-68 (w wersji z 1975 r.). Po 2000 r. współpraca przerodziła się w okresowe porównania dotyczące trzech punktów stałych, wspólnych dla dwóch państwowych wzorców temperatury utrzymywanych w INTiBS i GUM. W punktach potrójnych argonu ($-189,3442^{\circ}\text{C}$), rtęci ($-38,8344^{\circ}\text{C}$) i wody ($0,01^{\circ}\text{C}$), definicyjnych punktach aktualnie obowiązującej skali temperatury MST-90, prowadzone są wspólne prace badawcze i rozwojowe dla zapewnienia spójności pomiarowej i ustalania stopnia równoważności tych wzorców. Każdy z nich odtwarza metody pierwotne realizacji skali, jednak różniące się przyrządami interpolacyjnymi. W INTiBS odtwarzana jest MST-90 z zastosowaniem platynowych czujników termometrów rezystancyjnych „capsule type” SPRT, w GUM – z zastosowaniem czujników typu „long-stem” SPRT. Wspólnie podejmowane działania, mające na celu między innymi doskonalenie utrzymywanych wzorców, zostały ujęte w formalne ramy poprzez podpisanie przez Prezesa GUM i Dyrektora INTiBS w dniu 24 kwietnia 2013 roku umowy o współpracy naukowej. Obie instytucje, wraz z Zakładem Klimatologii i Ochrony Atmosfery Uniwersytetu Wrocławskiego, realizowały wspólnie kilka zadań w projekcie JRP ENV07 METEOMET. W celu realizacji projektu podjęto również współpracę z Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie (IMGW udostępnił na potrzeby projektu stację AWS do badań i wzorcowań w GUM).
- W 2011 r. zostało zawiązane konsorcjum pod nazwą GUM-INT-CZAH pomiędzy Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Głównym Urzędem Miar oraz firmą CZAH-POMIAR Sp. z o.o. z siedzibą w Katowicach. Konsorcjum zgłosiło do programu INNOTECH Narodowego Centrum Badań i Rozwoju projekt pt. „Określenie spójności pomiarowej państwowych wzorców jednostki temperatury”. Celem projektu było określenie spójności pomiarowej państwowych wzorców temperatury w Polsce w pokrywającym się zakresie temperatur od 83 K do 273 K oraz zapewnienie osiągnięcia przez nie, potwierdzonej w porównaniach międzynarodowych, dokładności wyznaczania temperatury na poziomie określonym przez Międzynarodową Skalę Temperatury z 1990 roku, a w konsekwencji oszacowanie najlepszej możliwości pomiarowej podczas wzorcowania urządzeń do pomiaru temperatury w kraju. Projekt nie uzyskał finansowania NCBR.

Plan rozwoju

- Podjęcie współpracy z INTiBS PAN w zakresie wspólnego wypracowania metod pomiarowych najwyższej dokładności w termometrii w powiązaniu z wytycznymi międzynarodowych organizacji metrologicznych oraz analizy stosowanych budżetów niepewności pomiaru – zapewnienie jednoznaczności pomiaru rezystancji w termometrii.
- Zbadanie możliwości współpracy w zakresie termometrii z firmami i instytucjami w następujących branżach:
 - ochrona środowiska – udział w budowie mobilnego stanowiska badawczego dla terenowych stacji meteorologicznych (potencjalna współpraca z Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Uniwersytetem Wrocławskim, LAB-EL, Głównym Inspektoratem Środowiska, Instytutem Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych),
 - produkcja urządzeń do pomiaru temperatury i wilgotności – wsparcie metrologiczne, udział w pracach badawczych nad przyrządami, opracowywaniu nowych przyrządów i stanowisk (potencjalna współpraca z Przemysłowym Instytutem Automatyki i Pomiarów, Instytutem Tele- i Radiotechnicznym, Instytutem Technologii Materiałów Elektronicznych, CZAH Pomiar, Grupa Introl, Czaki, Termoprodukt, LAB-EL, Geneza),
 - przemysł paliwowo-energetyczny – prace w zakresie poprawy wydajności procesu wytwarzania energii i paliw poprzez poszukiwanie rozwiązań dla dokładnego pomiaru dynamicznego temperatury (potencjalna współpraca z AGH Kraków, Instytutem Energetyki, PGE Bełchatów, Orlen, Instytut Nafty i Gazu, PGNiG),
 - przemysł przetwórczy – udział w budowie układów regulujących temperaturę oraz poprawie dokładności kontroli warunków przechowywania surowców wyjściowych (potencjalna współpraca z Zakładami Farmaceutycznymi „Polpharma” S.A., Zakładami Chemicznymi „Nitro-Chem” S.A., przemysłem spożywczym),
 - przemysł obronny – udział w opracowywaniu metod kontroli temperatury dla poprawy bezpieczeństwa pracy przy substancjach niebezpiecznych (potencjalna współpraca z Wojskową Akademią Techniczną, Centralnym Wojskowym Ośrodkiem Metrologii, Politechniką Warszawską, PZL Mielec, PZL Świdnik, Nitro-Chem).
- Należy przemyśleć możliwości rozwoju w GUM dziedziny badań materiałów pod kątem właściwości termofizycznych, takich jak przewodność i pojemność cieplna, emisyjność. Jest to zagadnienie mające duży potencjał do wykorzystania w wielu branżach przemysłu produkcyjnego, od hutnictwa czy odlewnictwa do wytwarzania i aplikacji materiałów o strukturze nanomikroskopijnej. Jest to bardzo szerokie zagadnienie, które wymaga rozwoju odpowiednich kompetencji w laboratorium.
- Stworzenie metodyk wzorcowania przyrządów pomiarowych z dziedziny termometrii. Takie działanie pozwoliłoby zwiększyć kompetencje metrologiczne polskich laboratoriów wzorcujących. Do tego celu do współpracy można zaprosić: Laboratoria akredytowane w zakresie temperatury i wilgotności względnej, PKN, INTiBS.

Potrzeby gospodarki zdiagnozowane przez Konsultacyjny Zespół Metrologiczny (KZM) ds. środowiska i zmian klimatycznych w zakresie grupy roboczej: temperatura i wilgotność.

1. Badania parametrów metrologicznych (pomiar wilgotności względnej i temperatury) urządzeń wykorzystywanych w przemyśle farmaceutycznym.
2. Opracowanie i zbudowanie mobilnego generatora wilgotności względnej.
3. Opracowania metod pomiarowych najwyższej dokładności w termometrii w powiązaniu z wytycznymi międzynarodowych organizacji metrologicznych oraz analizy stosowanych budżetów niepewności pomiaru.

3. Współpraca międzynarodowa

Dziedzina termometrii GUM jest obecna na forum europejskim. Pracownicy GUM są przedstawicielami w Komitecie technicznym do spraw termometrii (TC-T) oraz w podkomitecie do spraw wilgotności. Biorą również udział w pracach komitetów TC 11, TC 17 oraz TC 18 w OIML.

Uczestnictwo Laboratorium Temperatury oraz Laboratorium Wilgotności w projekcie EMRP ENV07 MeteoMet – „Metrology for pressure, temperature, humidity and airspeed in the atmosphere” (2011–2014). Projekt koncentrował się na identyfikacji problemów pomiarowych decydujących o ocenie zmian klimatycznych, przede wszystkim dotyczących pomiarów temperatury, ciśnienia, wilgotności, prędkości i kierunku wiatru przy powierzchni ziemi oraz w górnych warstwach atmosfery, a także odnoszących się do wzajemnego oddziaływania mierzonych wielkości. Założeniem projektu było osiągnięcie wiarygodnych danych meteorologicznych z wyznaczonym dla nich budżetem niepewności pomiaru oraz dokonanie interpretacji historycznych danych pomiarów temperatury. Skupiał się on przede wszystkim na kilku podstawowych w metrologii zagadnieniach:

- zdefiniowanie wzorców pomiarowych,
- zapewnienie spójności pomiarowej z państwowymi wzorcami jednostek miar,
- opracowanie procedur wzorcowania przyrządów pomiarowych, w tym stacji pogodowych i radiosond,
- oszacowanie niepewności pomiaru,
- ocena poprawności pozyskiwanych danych pomiarowych,
- doskonalenie jakości, ciągłości i spójności danych, także w odniesieniu do danych historycznych,
- wykonanie badań wpływu ciśnienia atmosferycznego na wilgotność względną, wilgotności względnej na temperaturę sond pojemnościowo-rezystancyjnych,
- konstrukcja stanowiska oraz wykonanie pomiarów ciśnienia cząstkowego nasyconej pary wodnej.

W realizacji projektu brało udział 18 europejskich instytutów metrologicznych z unijnym dofinansowaniem, a także 3 instytuty uniwersyteckie oraz kilkadziesiąt instytucji meteorologicznych bez finansowania. Polska w projekcie reprezentowana była przez Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN (INTiBS) (*founded partner*), Główny Urząd Miar (*founded partner*) i Zakład Klimatologii i Ochrony Atmosfery Uniwersytetu Wrocławskiego (*non-founded partner*). Koordynatorem projektu został Andrea Merlone z INRIM.

Udział w projekcie EMRP SIB10 NOTED “Novel techniques for traceable temperature dissemination” poprzez realizację trzech grantów naukowych przez pracowników Laboratorium Temperatury:

- SIB10-RMG1 – „Wpływ zanieczyszczeń na temperaturę punktu potrójnego rtęci”, Andrzej Wełna, CEM, Tres Cantos, Hiszpania, styczeń – maj 2013 r.
- SIB10-RMG3 – „Konstrukcja, charakterystyka i określenie funkcji odniesienia termoelementów Au/Pt, Sebastian Kalisz, CEM, Tres Cantos, Hiszpania, marzec – lipiec 2013 r.
- SIB10-ESRMG2 – „Badanie wpływu składu izotopowego na temperaturę punktu potrójnego wody”, Marek Kozicki, VSL, Delft, Holandia, luty – maj 2014 r.

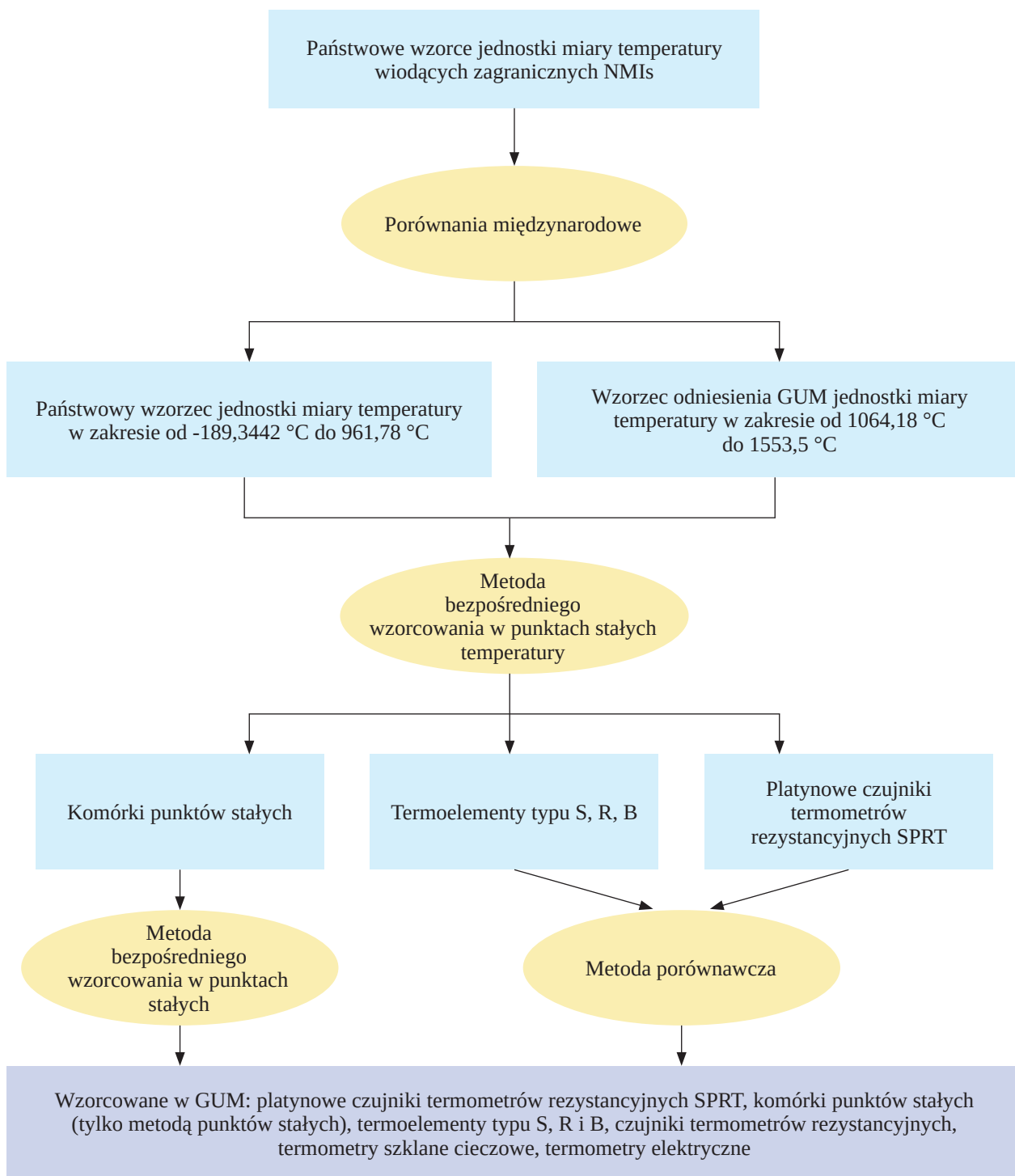
W 2014 r. Laboratorium Temperatury GUM włączyło się w przygotowania nowego projektu w ramach programu EMPIR – SRT-s17 TEMPNET “Novel techniques for traceable temperature dissemination”, który miał kontynuacją projektu NOTED. GUM miał uczestniczyć w dalszych badaniach termoelementów Au/Pt, które mogłyby potencjalnie zastąpić czujniki SPRT jako przyrządy interpolacyjne w zakresie od 660 °C do 962 °C. Projekt ostatecznie nie uzyskał finansowania Komisji Europejskiej. Ponadto Laboratorium Temperatury i Wilgotności uczestniczyło w projektach nadzorowanych przez Euramet:

- EURAMET 1303 “On-site visits by external technical experts in the fields of electricity and magnetism, thermometry, time and frequency and length”, Wilno, 2015 r.
- EURAMET P1160 – „Developing primary dew-point standards – dew-point generators” – Projekt budowy wzorca odniesienia temperatury punktu rosy w czeskim CMI. Koordynator projektu – Laboratorium Wilgotności GUM.

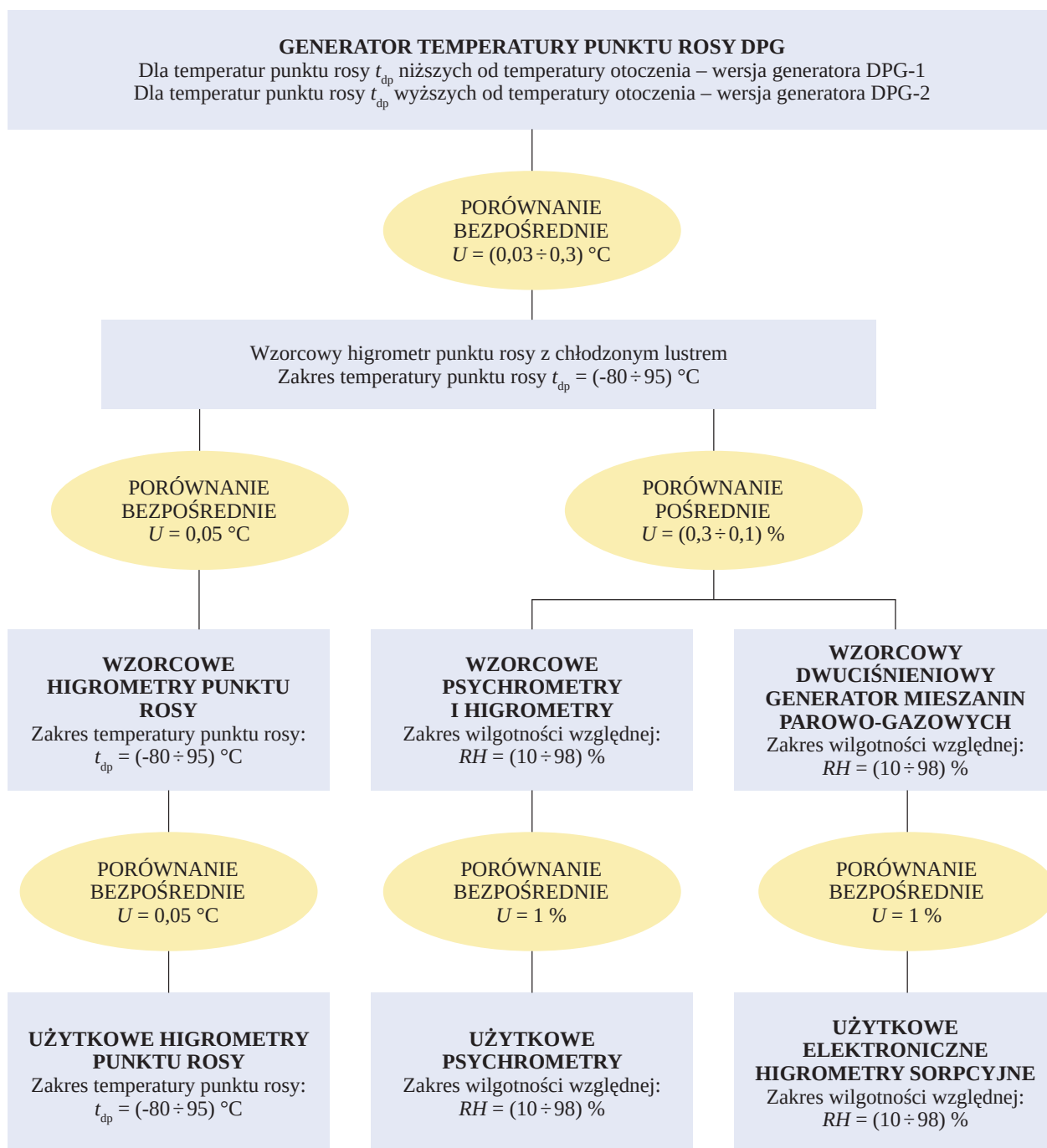
V Krajowy system metrologiczny dotyczący dziedziny

1. Spójność pomiarowa

a) Temperatura



b) Wilgotność



2. Klasyfikacja czynności metrologicznych

W poniższych tabelach została pokazana pełna klasyfikacja czynności metrologicznych dotyczących temperatury i wilgotności. Pominięta została klasyfikacja związana z termofizycznymi właściwościami materiałów ze względu na to, że nikt na świecie nie posiada w tym zakresie wpisów CMC. Kolorem zielonym zaznaczono czynności obecnie realizowane w GUM, posiadające wpisy CMC.

Temperatura

Kod literowy	Nr czynności	Przyrząd lub obiekt	Wielkość mierzona
T.T	1.	Temperatura – realizacja ITS-90	
T.T	1.1	Wzorcowe komórki punktów stałych	
T.T	1.1.1	Komórki do termometrii kontaktowej	temperatura
T.T	1.1.2	Komórki do termometrii radiacyjnej	temperatura
T.T	1.2	Aparatura do realizacji punktów stałych	
T.T	1.2.1	Urządzenia do termometrii kontaktowej	temperatura
T.T	1.2.2	Urządzenia do termometrii radiacyjnej	temperatura
T.T	1.3	Wzorcowe platynowe czujniki termometrów rezystancyjnych (SPRT)	
T.T	1.3.1	Kapsułkowe platynowe czujniki termometrów rezystancyjnych	temperatura
T.T	1.3.2	Długie platynowe czujniki termometrów rezystancyjnych i HTSPRT	temperatura
T.T	1.4	Wzorcowe termometry radiacyjne	
T.T	1.4.1	Wzorcowe termometry radiacyjne	temperatura
T.T	2.	Temperatura – urządzenia do rozpowszechniania ITS-90 i PLTS 2000	
T.T	2.1	Wtórne komórki punktów stałych	
T.T	2.1.1	Wtórne komórki punktów stałych	temperatura
T.T	2.2	Termometry rezystancyjne	
T.T	2.2.1	Termometry rezystancyjne rod-żelazo	temperatura
T.T	2.2.2	Przemysłowe platynowe czujniki termometrów rezystancyjnych (IPRT)	temperatura
T.T	2.2.3	Termistory i inne termometry rezystancyjne	temperatura
T.T	2.3	Termoelementy	
T.T	2.3.1	Termoelementy z metali szlachetnych	temperatura
T.T	2.3.2	Termoelementy z metali nieszlachetnych	temperatura
T.T	2.3.3	Termoelementy z czystych metali	temperatura
T.T	2.4	Termometry szklane cieczowe	
T.T	2.4.1	Termometry szklane cieczowe	temperatura
T.T	2.5	Termometry radiacyjne	
T.T	2.5.1	Wtórne komórki punktów stałych ciała doskonale czarnego i kompletne przyrządy	temperatura
T.T	2.5.2	Zmienne temperaturowo źródła promieniowania ciała doskonale czarnego	temperatura

Kod literowy	Nr czynności	Przyrząd lub obiekt	Wielkość mierzona
T.T	2.5.3	Lampy paskowe	temperatura
T.T	2.5.4	Termometry radiacyjne i wizualne pirometry optyczne	temperatura
T.T	2.6	Inne termometry	
T.T	2.6.1	Czujniki temperatury powietrza	temperatura
T.T	2.6.2	Inne termometry	temperatura
T.T	2.7	Czujniki temperatury z wyświetlaczem	
T.T	2.7.1	Czujniki temperatury z wyświetlaczem	temperatura
T.T	2.8	Inne usługi pomiarowe	
T.T	2.8.1	Liniiowość mostków	temperatura
T.T	2.8.2	Przewody kompensacyjne dla spoiny odniesienia	temperatura
T.T	2.8.3	Przewody do pomiarów temperatury topnienia dla termoelementów	temperatura
T.T	2.8.4	Wskaźniki temperatury	temperatura
T.T	2.8.5	Temperatury przejścia fazowego materiałów referencyjnych	temperatura
T.T	2.8.6	Kalibratory blokowe z suchą studnią	temperatura

Wilgotność

Kod literowy	Nr czynności	Przyrząd lub obiekt	Wielkość mierzona
T.H	3.	Higrometry	
T.H	3.1	Higrometry punktu rosy	temperatura punktu rosy/szronu
T.H	3.2	Psychrometry	wilgotność względna
T.H	3.3	Czujniki wilgotności względnej	wilgotność względna
T.H	3.4	Inne higrometry	temperatura punktu rosy/szronu
T.H	4.	Generatory dynamiczne	
T.H	4.1	Generatory punktu rosy	temperatura punktu rosy/szronu
T.H	4.2	Generatory wilgotności względnej	wilgotność względna
T.H	4.3	Generatory z mieszaniem strumieni	temperatura punktu rosy/szronu
T.H	4.4	Rurka permeacyjna, rurka dyfuzyjna	
T.H	5.	Generatory statyczne	
T.H	5.1	Roztwory soli nasyconych, nienasyconych	wilgotność względna
T.H	5.2	Gazowe materiały odniesienia	temperatura punktu rosy/szronu

VI Wykaz dokumentów związanych z dziedziną

1. Mise en pratique for the definition of the Kelvin adopted by the CCT in April 2006, http://www.bipm.org/utls/en/pdf/MeP_K.pdf.
2. International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), http://www.bipm.org/utls/common/pdf/its-90/ITS-90_metrologia.pdf.
3. Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990, http://www.bipm.org/utls/common/pdf/its-90/ITS-90_Techniques.pdf.
4. Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990, http://www.bipm.org/en/publications/its-90_supplementary.html.
5. EURAMET calibration guide No. 8 – Calibration of Thermocouples, TC-T, Version 2.1, 10/2011.
6. EURAMET calibration guide No. 11 – Guidelines on the Calibration of Temperature Indicators and Simulators by Electrical Simulation and Measurement, TC-T, Version 2.0, 03/2011.
7. EURAMET calibration guide No. 13 – Guidelines on the Calibration of Temperature Block Calibrators, TC-T, Version 4.0, 09/2017.
8. EURAMET technical guide No. 2 – EURAMET Guide on Lifetime and Drift/Stability Assessment of Industrial Thermocouples.
9. PN-EN 60584 – Termoelementy.
10. PN-EN 60751 – Czujniki platynowe przemysłowych termometrów rezystancyjnych i platynowe czujniki temperatury.
11. OIML Recommendation 84 – Platinum, copper, and nickel resistance thermometers (for industrial and commercial use).
12. OIML Recommendation 133 – Liquid-in-glass thermometers.
13. A Guide to the Measurement of Humidity.
14. PN-ISO 771 – Śruta nasion oleistych. Oznaczanie wilgotności i zawartości substancji lotnych.
15. PN-EN ISO 6540 – Kukurydza. Oznaczanie wilgotności (rozdrobionego i całego ziarna).
16. PN-EN 13183-1 – Wilgotność sztuki tarcicy. Część 1: Oznaczanie wilgotności metodą suszarkową.
17. PN-EN 13183-2 – Wilgotność sztuki tarcicy. Część 2: Oznaczanie wilgotności za pomocą elektrycznego wilgotnościomierza oporowego.
18. PN-EN ISO 712 – Ziarno zbóż i przetwory zbożowe. Oznaczanie wilgotności. Metoda odwoławcza.
19. PN-EN ISO 665 – Nasiona oleiste. Oznaczanie wilgotności i zawartości substancji lotnych.
20. PN-ISO 7700-1 – Produkty żywnościowe. Sprawdzanie wzorcowania wilgotnościomierzy użytkowych Część 1: Wilgotnościomierze do ziarna zbóż.

21. EURAMET calibration guide No. 20 | Guidelines on the Calibration of Temperature and / or Humidity Controlled Enclosures | TC-T | Version 5.0, 09/2017 .
22. DKD-R 5-7. Guideline. Calibration of Climatic Chamber.
23. EURAMET TC-T “A European roadmap for thermometry”, 2012.
24. EURAMET TC-T “A European roadmap for humidity and moisture”, 2012.
25. EURAMET “Strategy 2020”, 2015.
26. BIPM CCT “Strategy Document for Rolling Programme Development for 2013 to 2023”, 2013.
27. BIPM „Classification of services in thermometry”, 2016.

VII Wykaz publikacji pracowników GUM związanych z dziedziną w latach 2007–2016

1. R. Jarosz, K. Flakiewicz: Powtarzalność i odtwarzalność w pomiarach wilgotności względnej. Ogólnopolskie seminarium „Niepewność pomiarów”, Międzyzdroje, 2007, materiały konferencyjne.
2. R. Jarosz: Analiza wybranych źródeł błędów przy wzorcowaniu higrometrów punktu rosy z chłodzonym lustrem. Ogólnopolskie seminarium „Niepewność pomiarów”, Świnoujście, 2008, materiały konferencyjne.
3. K. Flakiewicz: Odtwarzalność w pomiarach wilgotności względnej – szacowanie poprawki i niepewności wzorcowania. Ogólnopolskie seminarium „Niepewność pomiarów”, Świnoujście, 2008, materiały konferencyjne.
4. R. Jarosz: Generator dwustrumieniowy – aspekty metrologiczne i techniczne wzorcowania użytkowych higrometrów punktu rosy. Konferencja „Podstawowe Problemy Metrologii”, Sucha Beskidzka, 2009, materiały konferencyjne.
5. R. Jarosz: Reproducibility in calibrations of the thermohygrometers – hysteresis in the RH indications”, TEMPMEKO 2010, materiały konferencyjne.
6. R. Jarosz, K. Flakiewicz: Low cost dew-point temperature standard for the fixed point 0 °C”, TEMPMEKO 2010, materiały konferencyjne.
7. R. Jarosz: Porównanie wzorców odniesienia temperatury punktu rosy DPG1 i DPG2 w zakresie od 10 °C do 20 °C. Konferencja „Podstawowe Problemy Metrologii”, 2011, materiały konferencyjne.
8. K. Flakiewicz: Spójność pomiarowa w dziedzinie wilgotności powietrza. Konferencja „Podstawowe Problemy Metrologii”, 2011, materiały konferencyjne.
9. R. Jarosz, K. Flakiewicz: Komputeryzacja wzorca podstawowego wilgotności – generatora temperatury punktu rosy. Konferencja „Metrologia Wspomagana Komputerowo” 2011, materiały konferencyjne.
10. R. Jarosz, K. Flakiewicz, I. Wiśniewska: Zastosowanie oprogramowania LabView przy wzorcowaniu komór klimatycznych. Konferencja „Metrologia Wspomagana Komputerowo”, 2011, materiały konferencyjne.
11. R. Jarosz: Analiza wpływu alkoholu etylowego na generowanie temperatury punktu rosy/szrogu w zakresie od -50 °C do 20 °C. Konferencja „Podstawowe Problemy Metrologii”, 2012, materiały konferencyjne.
12. A. Peruzzi, E. Grudniewicz: Final report on EURAMET.T-K7.3: Bilateral comparison of water triple point cells. Metrologia 49 (2012).
13. A. Szmyrka-Grzebyk, A. Merlone, K. Flakiewicz, E. Grudniewicz, K. Migała: JRP02e “Metrology for pressure, temperature, humidity and airspeed in the atmosphere”. Materiały XIV Krajowej i V Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Metrologia

- w Technikach Wytwarzania”, Warszawa-Pułtusk, wrzesień 2011. Journal of Automation, Mobile Robotics&Intelligent Systems – JAMRIS, vol. 6, no 3 (2012).
14. A. Merlone, G. Lopardo, S. Bell, R. Benyon, A. R. Bergerud, N. Boese, M. Brunet, R. Deboli, M. Dobre, C. Garcia Izquierdo, E. Georgin, E. Grudniewicz, M. Heinonen, D. Hudoklin, P. Klason, C. von Holstein-Rathlou, J. Johansson, H. Kaykışızlı, C. Melvad, K. Migła, R. Knorova, H. Saathoff, D. Smorgon, F. Sparasci, R. Strnad, A. Szmyrka-Grzebyk, E. Vuillermoz: A new challenge for meteorological measurements: the “MeteoMet” PROJECT – Metrology for Meteorology, ITS’9 International Temperature Symposium. AIP Conf. Proc., vol. 1552 (2013).
 15. K. Flakiewicz: Investigation of the saturated water vapour partial pressure. TEMPMEKO, Madera, 2013, materiały konferencyjne.
 16. K. Flakiewicz: Proposal of classification of CMC services in air humidity measurements. TEMPMEKO, 2013, materiały konferencyjne.
 17. E. Grudniewicz: Zapewnienie spójności pomiarowej w dziedzinie temperatury, Ogólnopolskie seminarium „Problemy pomiarów w meteorologii”, Wrocław, 2014, materiały konferencyjne.
 18. A. Wełna, B. Wiśniewska, M. Kozicki, E. Grudniewicz: Procedury utrzymania i wzorcowania automatycznych stacji pogodowych AWS. Ogólnopolskie seminarium „Problemy pomiarów w meteorologii”, Wrocław, 2014, materiały konferencyjne.
 19. E. Grudniewicz, B. Wiśniewska, A. Wełna, M. Kozicki, R. Jarosz, K. Flakiewicz: Traceable calibration procedure – results of application for temperature and humidity sensors for weather station. International Workshop on Metrology for Meteorology and Climate MMC 2014, Brdo, Słowenia, 2014, materiały konferencyjne.
 20. R. Jarosz: Prace badawcze dla parametrów klimatu – temperatury, wilgotności względnej oraz ciśnienia atmosferycznego. Konferencja „Podstawowe Problemy Metrologii”, 2014, materiały konferencyjne.
 21. K. Flakiewicz: Zapewnienie spójności pomiarowej w dziedzinie temperatury. Ogólnopolskie seminarium „Problemy pomiarów w meteorologii”, Wrocław, 2014, materiały konferencyjne.
 22. R. Jarosz: Prace badawcze dla parametrów klimatu – wilgotność względna. Ogólnopolskie seminarium „Problemy pomiarów w meteorologii”, Wrocław, 2014, materiały konferencyjne.
 23. A. Szmyrka-Grzebyk, A. Grykałowska, B. Kołodziej, A. Kowal, H. Manuszkiewicz, E. Grudniewicz, M. Kozicki, A. Wełna: Porównanie Państwowych wzorców temperatury w GUM i INTiBS PAN. Biuletyn Informacyjny GUM, nr 4 (2015).
 24. V. Faghihi, M. Kozicki, A.T. Aerts-Bijma, H.G. Jansen, J.J. Spriensma, A. Peruzzi, H.A.J. Mejer: Accurate experimental determination of the isotope effects on the triple point temperature of water. II. Combined dependence on the ^{18}O and ^{17}O abundances Metrologia 52 (2015).
 25. M. Kozicki, S. Wiśniewski, B. Wiśniewska: Au wire bridge method – new measurements for its validation. TEMPMEKO 2016, materiały konferencyjne.
 26. R. Jarosz, M. Zagożdżon: Additional system control relative humidity for air temperature below 0°C . TEMPMEKO, 2016, materiały konferencyjne.
 27. R. Jarosz, M. Zagożdżon: Humidity control system in climatic chambers for extreme measurement range of primary relative humidity standard. Konferencja „Problems and Progress in Metrology”, 2016, materiały konferencyjne.

Stanowiska pomiarowe

Stanowisko państwowego wzorca (pierwotnego) jednostki miary temperatury w zakresie od $-189,3442^{\circ}\text{C}$ do $961,78^{\circ}\text{C}$



Stanowisko wzorca pomiarowego pierwotnego jednostki miary temperatury

Państwowy wzorzec jednostki miary temperatury, służący do odtwarzania i przekazywania jednostki miary, zgodnie ze schematem spójności pomiarowej w dziedzinie temperatury. Zapewnienia spójność pomiarową z wzorcami międzynarodowymi poprzez uczestnictwo w porównaniach międzynarodowych realizowanych przez EURAMET.

Wzorzec odtwarza definicyjne punkty stałe Międzynarodowej Skali Temperatury (MST-90) w zakresie od $-189,3442^{\circ}\text{C}$ do $961,78^{\circ}\text{C}$, obejmującym punkt potrójny argonu ($-189,3442^{\circ}\text{C}$), punkt potrójny rtęci ($-38,8344^{\circ}\text{C}$), punkt potrójny wody ($0,01^{\circ}\text{C}$), punkt topnienia galu ($29,7646^{\circ}\text{C}$), punkt krzepnięcia indu ($156,5985^{\circ}\text{C}$), punkt krzepnięcia cyny ($231,928^{\circ}\text{C}$), punkt krzepnięcia cynku ($419,527^{\circ}\text{C}$), punkt krzepnięcia aluminium ($660,323^{\circ}\text{C}$), punkt krzepnięcia srebra ($961,78^{\circ}\text{C}$).

W skład stanowiska pomiarowego wzorca państwowego wchodzi:

- ♦ zespół komórek punktów stałych temperatury Ar, Hg, H_2O , Ga, In, Sn, Zn, Al, Ag (wraz z urządzeniami termostatujującymi),
- ♦ zespół platynowych czujników termometrów rezystancyjnych SPRT,
- ♦ wysokoprecyzyjne mostki prądu zmiennego,
- ♦ zespół rezystorów wzorcowych (wraz z urządzeniami termostatujującymi).

Metody realizacji punktów stałych temperatury, stosowane w Samodzielnym Laboratorium Termometrii GUM, muszą zachowywać zgodność z wytycznymi zawartymi w dokumentach międzynarodowych, opublikowanych na stronie Międzynarodowego Biura Miar (BIPM). Zgodność tych metod potwierdzana jest w trakcie uczestnictwa wzorca państwowego w porównaniach międzynarodowych (kluczowych regionalnych i uzupełniających). Udział w porównaniach jest obligatoryjny i wynika z zobowiązań międzynarodowych, podjętych przez GUM, z chwilą podpisania międzynarodowego porozumienia CIPM MRA o wzajemnym uznawaniu wzorców państwowych oraz świadectw wzorcowania i pomiarów. Uczestnictwo wzorca temperatury w porównaniach kluczowych regionalnych EURAMET.T-K3, EURAMET.T-K4 i EURAMET.T-K7.3

pozwoлиło na uzyskanie międzynarodowej akceptacji możliwości pomiarowych (CMC), skutkujące umieszczeniem ich w ogólnodostępnej bazie danych porównań kluczowych KCDB na stronie BIPM. Dla klientów laboratorium GUM ma to kluczowe znaczenie wynikające z międzynarodowych wymagań akredytacyjnych.

Wzorzec uczestniczy również w okresowych porównaniach z INTiBS w zakresie trzech punktów stałych Ar, Hg, H₂O. Wyniki porównań i wymiana doświadczeń z INTiBS wykorzystywane są w prowadzonych pracach rozwojowych, mających na celu poprawę możliwości pomiarowych utrzymywanych wzorców.

Możliwości pomiarowe wzorca w odniesieniu do:

- wzorcowania komórek punktów stałych Ar, Hg, H₂O, Ga, In, Sn, Zn, Al, Ag, wyrażone jako niepewności rozszerzone to odpowiednio: 0,9 mK, 0,7 mK, 0,11 mK, 0,6 mK, 1,75 mK, 1,3 mK, 1,5 mK, 3,8 mK oraz 4,6 mK,
- wzorcowania platynowych czujników termometrów rezystancyjnych SPRT w punktach stałych Ar, Hg, H₂O, Ga, In, Sn, Zn, Al, Ag wyrażone jako niepewności rozszerzone to odpowiednio: 1,1 mK, 0,95 mK, 0,22 mK, 0,85 mK, 1,8 mK, 1,45 mK, 1,65 mK, 3,95 mK, 4,9 mK.

Stanowisko wzorca państwowego jest w trakcie modernizacji obejmującej wymianę przestarzałych technologicznie elementów (mostka rezystancyjnego, komórek punktów stałych, czujników rezystancyjnych SPRT, pieców), uzupełnienie liczby komórek dla poszczególnych punktów stałych oraz usprawnienie automatycznej komunikacji pomiędzy piecami, czujnikami i mostkami rezystancyjnymi. Modernizacja przybliży poziom polskiego wzorca państwowego do poziomu wzorców innych krajowych instytucji metrologicznych, pozwoli także na uzyskanie lepszych możliwości pomiarowych i pełniejsze uczestnictwo w porównaniach międzynarodowych.



Komórki punktów stałych

Stanowisko pomiarowe wzorca odniesienia jednostki miary temperatury w zakresie od 419,527 °C do 1553,5 °C



Stanowisko pomiarowe do wzorcowania termoelementów metodą punktów stałych

Stanowisko pomiarowe służy do wzorcowania termoelementów typu S, R i B metodą punktów stałych w zakresie od 419,527 °C do 1553,5 °C. Wzorzec odniesienia jest odtwarzany w przedziale temperatur powyżej wzorca państwowego, tj. od 1064,18 °C do 1553,5 °C, obejmującym punkt krzepnięcia złota (1064,18 °C), krzepnięcia miedzi (1084,62 °C) i topnienia palladu (1553,5 °C). Ciągłość charakterystyki termometrycznej termoelementu jest zapewniana poprzez wzorcowanie w punktach stałych krzepnięcia cynku (419,527 °C), aluminium (660,323 °C) i srebra (961,78 °C) realizowanych w trójstrefowych piecach pionowych. Są to wtórne punkty stałe, zachowujące spójność pomiarową z wzorcem państwowym. W skład stanowiska pomiarowego wchodzi:

- ♦ pionowe piece trójstrefowe oraz piec typu heat-pipe,
- ♦ komórki punktów stałych Zn, Al, Ag, Au i Cu,
- ♦ wzorcowy drut palladowy,
- ♦ wzorcowe termoelementy typu S i B,
- ♦ multimetry cyfrowe.

Możliwości pomiarowe wzorca odniesienia w przypadku wzorcowania termoelementów typu S, R i B wynoszą: 0,18 °C w punktach stałych cynku, aluminium i srebra, 0,2 °C w punktach stałych złota oraz miedzi i 1,5 °C w punkcie topnienia palladu.

Stanowisko pomiarowe wzorca roboczego do wzorcowania termoelementów metodą porównawczą

Stanowisko umożliwia wzorcowanie termoelementów typu S, R i B metodą porównawczą w zakresie temperatur od 400 °C do 1100 °C. Składa się ono z trójstrefowego pieca poziomego, w którym umieszcza się termoelementy wzorcowane i kontrolne. Za pomocą multimetru cyfrowego odczytywana jest wartość siły termoelektrycznej. Możliwości pomiarowe wzorca odniesienia wynoszą 0,6 °C w przypadku wzorcowania termoelementów typu S i R w zakresie od 400 °C do 1100 °C oraz 0,8 °C dla wzorcowania termoelementów typu B w zakresie od 600 °C do 1100 °C.



Stanowisko pomiarowe do wzorcowania termoelementów metodą porównawczą

Stanowisko pomiarowe wzorca roboczego jednostki miary temperatury do metody porównawczej

Stanowisko pomiarowe wzorca roboczego służy do wzorcowania czujników termometrów rezystancyjnych, termometrów elektrycznych, termistorów i termometrów szklanych cieczowych metodą porównawczą z zachowaniem spójności pomiarowej z wzorcem państwowym. W skład stanowiska wchodzi:

- ♦ grupa wzorców roboczych platynowych czujników termometrów rezystancyjnych SPRT,



Stanowisko pomiarowe wzorca roboczego jednostki temperatury realizujące metodę porównawczą w zakresie (-80 ÷ 550) °C

- ♦ grupa wzorców roboczych termometrów szklanych cieczowych,
- ♦ grupa komórek do odtwarzania punktu potrójnego wody,
- ♦ ebulioskop,
- ♦ grupa termostatów cieczowych (medium: etanol, woda, olej, sól),
- ♦ precyzyjny mostek rezystancyjny prądu przemiennego o niepewności do 1 ppm,
- ♦ grupa rezystorów wzorcowych.

Na stanowisku stosowana jest zarówno metoda porównawcza w zakresie temperatur od -80°C do 550°C jak i metoda punktów stałych: punkt potrójny wody ($0,01^{\circ}\text{C}$), punkt topnienia lodu (0°C), punkt wrzenia wody (100°C). Metoda porównawcza polega na porównywaniu wskazań wzorcowanego przyrządu ze wskazaniem wzorca roboczego czujnika SPRT w temperaturze punktu wzorcowania z zastosowaniem termostatu z odpowiednim medium. Podczas wzorcowania metodą punktów stałych wskazania wzorcowanego przyrządu porównywane są z wartością nominalną tych punktów (bez udziału wzorca roboczego).

Możliwości pomiarowe wzorca roboczego w odniesieniu do:

- wzorcowania termometrów szklanych cieczowych metodą porównawczą w zakresie temperatur od -80°C do 550°C wynoszą: $(0,02 \div 0,1)^{\circ}\text{C}$,
- wzorcowania termometrów szklanych cieczowych metodą punktów stałych w punkcie potrójnym wody wynoszą: $0,005^{\circ}\text{C}$,
- wzorcowania termometrów elektrycznych i czujników termometrów rezystancyjnych metodą porównawczą w zakresie temperatur od -80°C do 550°C wynoszą: $(0,006 \div 0,04)^{\circ}\text{C}$,
- wzorcowania termistorów metodą porównawczą w zakresie temperatur od -50°C do 100°C wynoszą: $(0,007 \div 0,01)^{\circ}\text{C}$.

Stanowisko pomiarowe wzorca odniesienia temperatury punktu rosy/szronu



Generator temperatury punktu rosy/szronu

Stanowisko wzorca odniesienia temperatury punktu rosy/szronu tzw. generator temperatury punktu rosy/szronu służy do wzorcowania na najwyższym poziomie wzorcowych higrometrów punktu rosy w zakresie generowania temperatury punktu rosy/szronu od -80°C do 95°C z najlepszą możliwością pomiarową równą $0,03^{\circ}\text{C}$. Kluczowym elementem generatora jest saturator główny, w którym strumień powietrza ulega stopniowej saturacji lub kondensacji. W zależności od generowanej temperatury punktu rosy/szronu wyróżnić można dwa układy pomiarowe:

- ♦ układ zamknięty – DPG1 (dew point generator), dla temperatur punktu szronu/rosy od -80°C do 20°C ,
- ♦ układ otwarty – DPG2, dla temperatur punktu rosy od 20°C do 95°C .

Oprócz saturatora głównego w skład generatora wchodzi: termostat główny, saturator wstępny, instalacja gazowa (teflonowa, stalowa elektropolerowana wewnętrznie, teflonowa podgrzewana), butla ze sprężonym powietrzem technicznym, przepływomierz, pompka, termostat wstępny, układ pomiarowy temperatury: (mostek rezystancyjny, czujnik temperatury, opornik), higrometr wzorcowy z chłodzonym lustrem.

Stanowisko pomiarowe wzorca odniesienia wilgotności względnej



Komora klimatyczna z wzorcami odniesienia

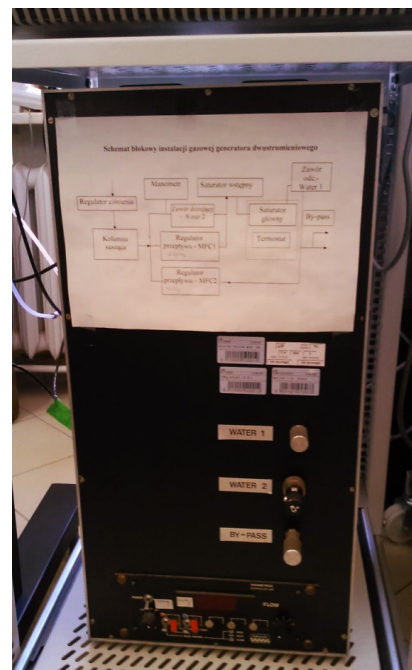
Wzorzec odniesienia wilgotności względnej służy do wzorcowania termohigrometrów, higrometrów, przetworników wilgotności, psychrometrów, mierników mikroklimatu oraz wszelkiego rodzaju przyrządów elektronicznych do pomiaru wilgotności. Zakres pomiarowy generowanej wilgotności względnej zawiera się w przedziale od 10 % do 98 % w temperaturach powietrza od -40°C do 95°C . Najlepsza niepewność rozszerzona osiągnięta w tym zakresie waha się od 0,3 % do 1 %.

W skład wzorca odniesienia wilgotności względnej wchodzi: komora klimatyczna, higrometr wzorcowy z chłodzonym lustrem, czujnik kwarcowy lub rezystancyjny temperatury, kaseta wewnętrzna, oprogramowanie firmowe producentów, zestaw 10 czujników Pt100 ze skanerem i multiplekserem, zestaw 10 czujników pojemnościowych wilgotności względnej.

Stanowisko pomiarowe do wzorcowania przemysłowych higrometrów – generator dwustrumieniowy

Stanowisko generatora dwustrumieniowego służy do wzorcowania sond pojemnościowych oraz higrometrów z chłodzonym lustrem użytkowanych w przemyśle. Zakres generowania temperatury punktu rosy jest od -80°C do 23°C z niepewnością rozszerzoną $0,05^{\circ}\text{C}$. Głównym elementem jest generator dwustrumieniowy w całości zaprojektowany i wykonany w Laboratorium Wilgotności. Dzięki dokładnej regulacji przepływu strumienia wilgotnego i suchego na wyjściu w dwóch symetrycznych przewodach można otrzymać strumień o żądanej temperaturze punktu rosy/szronu. Precyzyjna regulacja przepływu jest realizowana za pomocą dokładnych regulatorów (mass flow controller).

Tor suchy składa się z kolumny suszącej wypełnionej sitami molekularnymi zapewniającymi strumień powietrza o zawartości pary wodnej rzędu kilku ppm. Tor wilgotny to zestaw dwóch saturatorów: wstępnego w temperaturze otoczenia oraz głównego umieszczonego w termostacie o temperaturze poniżej temperatury otoczenia. Finalnie tory są łączone a następnie połączone i równolegle wyprowadzone na przyrząd wzorcowy i wzorcowany.



Wyposażenie stanowiska do wzorcowania przemysłowych higrometrów

Stanowisko odniesienia do wzorcowania wilgotnościomierzy nasion oleistych i ziaren zbóż

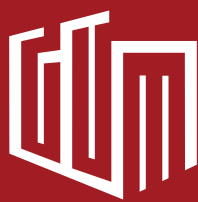
Stanowisko służy do oznaczania wilgotności zboża i nasion oleistych metodą suszarkowo-wagową. Wyniki tych oznaczeń stanowią wartości odniesienia dla wzorcowanych wilgotnościomierzy.

Przedmiotem wzorcowania są wilgotnościomierze pojemnościowe, oporowe i spektralne do zbóż i nasion oleistych.

Oznaczanie wilgotności zboża dla rozdrobnionego ziarna na powyższym stanowisku wykonywane jest w zakresie od 0 % do wartości zależnych od rodzaju materiału. Górna granica wilgotności określona jest przez wartość wilgotności, powyżej której woda wypływa z tego materiału. Metoda wzorcowania polega na porównaniu wskazań wilgotności próbek zbóż przez wzorcowane przyrządy z wynikami oznaczenia wilgotności dla tych próbek otrzymanymi metodami suszarkowo-wagowymi.



Stanowisko do wzorcowania wilgotnościomierzy nasion oleistych i ziaren zbóż



Warszawa, 2018