

**Aleksandra KOWAL<sup>1</sup>, Anna SZMYRKA-GRZEBYK<sup>1</sup>, Andrea PERUZZI<sup>2</sup>**<sup>1</sup> INSTYTUT NISKICH TEMPERATUR I BADAŃ STRUKTURALNYCH IM. WŁ. TRZEBIATOWSKIEGO PAN, ul. Okólna 2, 50-422 Wrocław<sup>2</sup> DUTCH METROLOGY INSTITUTE, 2600 AR Delft, P.O. Box 654, Netherlands**Bilateralne porównania dokładności realizacji punktu potrójnego wody w INTiBS i VSL w Holandii****Dr inż. Aleksandra KOWAL**

Fizyk w Laboratorium Wzorca Temperatury INTiBS PAN. Studia na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej ukończyła w 2000 r. Pracę doktorską z termometrii niskotemperaturowej obroniła na Politechnice Wrocławskiej w 2012 r. Pełni w Instytucie funkcję Kierownika ds. Jakości.



e-mail: A.Kowal@int.pan.wroc.pl

**Dr hab. Anna SZMYRKA-GRZEBYK**

Absolwentka Uniwersytetu Wrocławskiego. Pracę doktorską obroniła w INTiBS. Stopień dr hab. z zakresu metrologii uzyskała na Politechnice Poznańskiej. Jest kierownikiem Laboratorium Wzorca Temperatury, w którym znajduje się państwowy wzorzec jednostki temperatury dla zakresu niskich temperatur. Jest członkiem Komitetu Technicznego T12 – IMEKO. Uczestniczy w debatach na temat reformy ustawy Prawo o miarach.



e-mail: A.Szmyrka@int.pan.wroc.pl

**Dr Andrea PERUZZI**

Ukończył studia i uzyskał stopień doktora na uczelniach we Włoszech. Obecnie pracuje w Instytucie Metrologii VSL w Delft w Holandii. Pełni funkcję sekretarza Komitetu Technicznego ds. Termometrii w EURAMET. Jest członkiem Komitetu Doradczego ds. Termometrii CCT Międzynarodowego Biura Miar.

e-mail: aperuzzi@vsl.nl

**1. Wstęp**

INTiBS – depozytariusz wzorca państwowego jednostki miary temperatury dla zakresu niskich temperatur – zobowiązany jest do potwierdzania swoich kompetencji poprzez udział w międzynarodowych porównaniach parametrów metrologicznych utrzymywanego wzorca, tzw. porównaniach kluczowych (*key comparison*). Wymagania te wynikają z opracowanego przez Międzynarodowy Komitet Miar (CIPM) porozumienia CIPM MRA [1] o wzajemnym uznawaniu państwowych wzorców jednostek miar oraz świadectw wzorcowania wydawanych przez krajowe instytuty metrologiczne. Wyniki porównań kluczowych stają się podstawą do wprowadzenia informacji o zdolności pomiarowej CMC (*Calibration and Measurements Capability*) poszczególnych instytucji, w tym osiągniętej niepewności pomiaru, do bazy danych Międzynarodowego Biura Miar: [www.kcdb.bipm.org](http://www.kcdb.bipm.org).

Podstawowym elementem wzorca temperatury jest komórka do realizacji punktu potrójnego wody – punktu stałego Międzynarodowej Skali Temperatury z 1990 r. [2] definiującego jednostkę temperatur, *kelwin*.

W latach 2006 – 2009 INTiBS uczestniczył w bilateralnych porównaniach komórek do realizacji punktu potrójnego wody przeprowadzonych w Instytucie Metrologii w Turynie (INRiM), realizowanych jako projekt EUROMET nr 895 [3]. Porównania te wykazały [4], iż komórka wody jaką dysponuje INTiBS nie spełnia wymagań zadanych dla tego punktu – uzyskiwana temperatura punktu potrójnego wody różniła się więcej niż 100  $\mu\text{K}$  od wartości średniej uzyskanej w europejskich porównaniach kluczowych EURAMET T.K7 [5]. Niezbędna stała się wymiana komórek wzorcowych w INTiBS i powtórne przeprowadzenie porównań międzynarodowych w celu zapewnienia spójności pomiarowej polskiego wzorca z innymi wzorcami europejskimi. Porównania takie zostały przeprowadzone w Instytucie Metrologii w Holandii (VSL) – przez koordynatora porównań EURAMET T.K7 – jako projekt EURAMET nr 1163 [3].

**2. Definicja jednostki temperatury**

Jednostką temperatury w międzynarodowym układzie jednostek miar SI jest *kelwin* zdefiniowany jako  $1/273,16$  temperatury termodynamicznej punktu potrójnego wody. Wartość temperatury punktu potrójnego wody jest zadana – równa  $273,16\text{ K}$  z niepewnością równą zero. Liczne badania wykazują, że definicja ta wymaga uściślenia, a także że praktyczna realizacja punktu potrójnego wody z dużą dokładnością nie jest łatwa. W definicji Międzynarodowej Praktycznej Skali Temperatury z 1968 r. (MPST-68) [6] znajdował się zapis mówiący, że wartość  $273,16\text{ K}$  jest przypisana punktowi potrójnemu wody o określonym składzie izotopowym. Był to skład odpowiadający średniej wartości izotopów wody oceanicznej, rekomendowany jako referencyjny przez

**Streszczenie**

INTiBS – depozytariusz wzorca państwowego – zobowiązany jest do potwierdzania swoich kompetencji przez udział w międzynarodowych porównaniach kluczowych. Wymagania te wynikają z porozumienia CIPM MRA. Porównania dokładności realizacji punktu potrójnego wody w INTiBS – elementu wzorca państwowego – zostały przeprowadzone w Instytucie Metrologii w Holandii (VSL). Różnica temperatur punktu potrójnego wody uzyskiwanych w komórkach VSL i INTiBS wynosiła  $2,9\text{ }\mu\text{K}$  przy niepewności pomiaru  $u = 46\text{ }\mu\text{K}$ .

**Słowa kluczowe:** wzorce temperatury, punkty stałe skali temperatury, porównania kluczowe, CMC.

**Bilateral comparison of water triple point realization at INTiBS and VSL – the Netherlands****Abstract**

In Poland the National Temperature Scale is maintained by two distinct National Laboratories, by the Central Office of Measures – GUM in Warsaw, for long-stem thermometers at temperatures above the argon triple point with a temperature  $-189,3442\text{ }^\circ\text{C}$  up to  $+961,78\text{ }^\circ\text{C}$ , and by the Institute of Low Temperature and Structure Research – INTiBS in Wrocław, for capsule thermometers at temperatures below the water triple point down to  $13,8033\text{ K}$  (the triple point of hydrogen). Since both laboratories use the water triple point but only GUM could participated in EURAMET.T-K7, a separate bilateral comparison was set up with the Dutch Metrology Institute - VSL, in order to create a direct reference to CCT-K7 for INTiBS. A temperature difference of the triple point of water at the INTiBS reference cell and the VSL water cell determined during the comparisons was equal to  $2,9\text{ }\mu\text{K}$  with a standard uncertainty  $u = 46\text{ }\mu\text{K}$  for  $k = 1$ . The comparison gives a direct linkage to the EURAMET. T-K7. The equivalence between the INTiBS standard  $T_{\text{INT}}(\text{TPW})$  and the European Reference Value  $T_{\text{ERV}}(\text{TPW})$  is  $1,2\text{ }\mu\text{K}$  with an expanded uncertainty  $U = 111\text{ }\mu\text{K}$  for  $k = 2$ .

**Keywords:** temperature standards, fixed points of temperature scale, key comparison, CMC.

Międzynarodową Agencję Energii Atomowej, oznaczany symbolem SMOW – *Standard Mean Ocean Water*. Skład ten jest następujący:

$^1\text{H}$  0,999 842 mola  $^{16}\text{O}$  0,997 640 mola

oraz

$^2\text{H}$  0,158 mmola na 1 mol  $^1\text{H}$ ,  
 $^{18}\text{O}$  1,989 mmola na 1 mol  $^{16}\text{O}$ ,  
 $^{17}\text{O}$  0,371 mmola na 1 mol  $^{16}\text{O}$ .

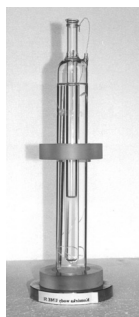
Wprowadzona w 1990 r. Międzynarodowa Skala Temperatury [2] definiując jednostkę temperatury termodynamicznej, *kelwin*, pominęła warunek dotyczący składu izotopowego wody. Fakt ten jednak jest na tyle ważny, że Międzynarodowy Komitet Miar wydał w 2005 r. rekomendację, w której podaje, iż wartość 273,16 K należy przypisywać temperaturze punktu potrójnego wody o następującym składzie izotopowym [7]:

$^2\text{H}$  0,155 76 mmola na 1 mol  $^1\text{H}$ ,  
 $^{18}\text{O}$  2,005 2 mmola na 1 mol  $^{16}\text{O}$ ,  
 $^{17}\text{O}$  0,377 9 mmola na 1 mol  $^{16}\text{O}$ ,

który odpowiada składowi wody oceanicznej o symbolu VSMOW – *Vienna Standard Mean Ocean Water* zalecanej jako wzorcowej przez IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*).

Woda o dużej zawartości deuteru ( $^2\text{H}$ ) charakteryzuje się znacznie wyższą od VSMOW temperaturą punktu potrójnego, różnice sięgają nawet kilku kelwinów [8].

Nie tylko skład izotopowy decyduje o wartości temperatury punktu potrójnego. Istotnym czynnikiem jest oczywiście czystość wody. W komórkach termometrycznych stosuje się wodę destylowaną, dejonizowaną o czystości nie mniejszej niż 99,9995 %. Punkt potrójny wody dla celów termometrii wzorcowej realizowany jest w szklanych komórkach, których konstrukcja opracowana została jeszcze w latach 30.-tych ubiegłego wieku – rys. 1.



Rys. 1. Komórka do realizacji punktu potrójnego wody  
 Fig. 1. Water triple point cell

Ścianki komórki wykonywane są ze szkła boro-silikonowego lub kwarcowego. Szkło kwarcowe jest krucho, dlatego komórki takie ulegają często uszkodzeniu, natomiast krzem zawarty w szkłe boro-silikonowym z czasem rozpuszcza się w wodzie powodując nieunikniony wzrost zanieczyszczeń i, co z tym się wiąże, zmianę temperatury punktu potrójnego wzorcowej wody.

Oprócz tych podstawowych czynników na odtwarzalność temperatury punktu potrójnego wody wpływa także sposób wytwarzania płaszczki lodowego w komórce decydujący o wielkości naprężeń w powstającej warstwie lodu oraz warunki przechowywania komórki gwarantujące utrzymywanie odpowiedniej warstwy lodu w wymaganym okresie.

Dokładność realizacji punktu potrójnego wody przekłada się wprost na dokładność wzorcowania standardowych termometrów platynowych w innych punktach stałych, dlatego badania punktu wody należą do fundamentalnych zagadnień termometrii wzorcowej.

### 3. Porównania międzynarodowe

Porównania międzynarodowe wykonane przez Międzynarodowe Biuro Miar pod koniec lat 90.tych wykazały, że temperatury punktu potrójnego wody osiągane w komórkach wzorcowych poszczególnych krajów różnią się w granicach  $\pm 200 \mu\text{K}$  [9]. Były to rozrzuty znacznie większe niż oczekiwano. Przeprowadzono więc następną serię porównań międzynarodowych. Badania wykonane zostały we francuskim instytucie metrologicznym BNM-INM dla 26 komórek wody w 32 cyklach pomiarowych [10]. Porównania prowadzone były według zasad przedstawionych w przewodniku [11]. Dwukrotnie wymrażano badane komórki i dla każdego płaszczki lodowego wykonywano 10 pomiarów temperatury w odstępach jednodniowych. Wyniki przedstawione w pracy [10] wskazują, iż tylko w 12 przypadkach wartości temperatury punktu potrójnego wody różniły się w granicach  $\pm 50 \mu\text{K}$  od wartości średniej. W dużej grupie komórek rozrzuty przekraczały znacznie  $\pm 100 \mu\text{K}$ . Uzyskane rezultaty porównań międzynarodowych wymagały dokładnej analizy potencjalnych przyczyn występujących różnic i skorygowania ich. To właśnie w wyniku tej analizy zauważono, że nie można pomijać wpływu składu izotopowego na wartość temperatury punktu potrójnego wody i w celu zminimalizowania tego efektu należy stosować wodę o wskazanym lub znanym składzie izotopowym korygując wyznaczoną temperaturę do składu VSMOW.

Szczegółowe wyniki porównań kluczowych CCT-K.7 komórek wody wykonanych pod auspicjami Komitetu Doradczego ds. Termometrii (CCT) Międzynarodowego Biura Miar zawiera raport opublikowany w 2006 r [12]. Nadal część uzyskanych wyników nie była w pełni zadawalająca, kontynuowano więc porównania uzupełniające, regionalne - jako projekt EURAMET. T-K7 [5]. Koordynatorem tych porównań był VSL – instytut metrologii w Delft (Holandia). Polskę w omawianych porównaniach reprezentował Główny Urząd Miar. INTiBS utrzymujący państwowy wzorec temperatury dla zakresu niskich temperatur poczynając od punktu potrójnego wody dokonywał weryfikacji parametrów metrologicznych stosowanych komórek wzorcowych w porównaniach bilateralnych z instytutem metrologii INRiM w Turynie, realizowanych jako projekt EURAMET nr 895. Przeprowadzone porównania wykazały, że obie polskie wzorcowe komórki wody znalazły się poza wymaganym zakresem:  $\Delta T = T_{\text{ref PI}} - T_{\text{ERV}} > 100 \mu\text{K}$ , gdzie  $T_{\text{ref PI}}$  jest wartością temperatury punktu potrójnego wody osiąganą w polskich komórkach referencyjnych, a  $T_{\text{ERV}}$  – wartością średnią wyznaczoną w porównaniach EURAMET. T-K7. Szczegółowe wyniki bilateralnych porównań referencyjnej komórki wody INTiBS przeprowadzonych w INRiM przedstawiono w pracy [4].

Niezbędna była wymiana komórki wzorcowej w INTiBS i przeprowadzenie kolejnych porównań bilateralnych zapewniających spójność pomiarową z innymi komórkami wzorcowymi stosowanymi przez europejskie instytucje metrologiczne.

### 4. Bilateralne porównania między INTiBS i VSL

W 2010 r. INTiBS dokonał zakupu trzech komórek do realizacji punktu potrójnego wody. Dwie z nich, typu B11-50-270 o numerach 899 i 901, brały udział w porównaniach bilateralnych wykonanych w VSL w Holandii, zarejestrowanych jako projekt EURAMET nr 1163 – *Bilateral comparison of water triple point cells EURAMET.TK7.2* [3]. Komórka nr 901, posiadająca certyfikat na skład izotopowy, pełni obecnie rolę referencyjnej w INTiBS.

Porównania wykonywane były według procedury stosowanej w czasie porównań EURAMET.T-K7. Obie komórki wychładzane były siedem dni przed rozpoczęciem pomiarów i utrzymywane w termostacie gwarantującym zachowanie wymaganej stałości temperatury. Uważa się, że po okresie od 4 do 7 dni naprężenia w warstwie lodu są nieznaczne i nie wpływają na wartość temperatury punktu potrójnego. Po takim czasie rozpoczyna się pomiary. Jeden cykl obejmował około 10 pomiarów temperatury punktu

potrójnego wody w obu komórkach wykonywanych w odstępach jednodniowych. Następnie komórki były odgrzewane, po czym ponownie wytwarzano w nich płaszczce lodowe. Po siedmiu dniach powtarzano kolejny cykl dziesięciu pomiarów.

Dla każdego pomiaru  $i$  wyznaczano wartość różnicy temperatur  $\Delta T_i = T_{i,899} - T_{i,INT\ ref}$ , gdzie  $T_{i,899}$  jest  $i$ -tą wartością temperatury w komórce nr 899, a  $T_{i,INT\ ref}$  - temperaturą w komórce referencyjnej, średnią wartość różnicy temperatur  $\Delta T_{sr}$  dla wykonanych pomiarów i odchylenie standardowe średniej  $\sigma$ . Do pomiaru temperatury stosowane były standardowe platynowe termometry rezystancyjne. W przypadku INTiBS, gdzie utrzymywany jest wzorzec temperatury dla zakresu niskich temperatur, stosuje się termometry typu kapsułkowego o nominalnym oporze 25  $\Omega$ . Rezystancję termometru mierzono mostkiem stosunkowym prądu stałego model 6015T o dokładności 0,02 ppm. Pomiaru wykonano dla trzech wartości prądu  $I = 1$  mA, 1,42 mA i 2 mA w celu zredukowaniu wyniku do zerowej wartości  $I$ . Z uwagi na wpływ ciśnienia hydrostatycznego wody na wartość temperatury punktu potrójnego wyznaczono zależność rezystancji termometru od głębokości zanurzenia go w komórce (tzw. *immersion profile*). Zależność ta uwzględniana jest w budżecie niepewności.

Po wykonaniu w INTiBS dwóch cykli pomiarowych (seria I) komórka transferowa (nr 899) została przekazana do VSL, gdzie wykonano pomiary porównawcze z wzorcowymi komórkami wody VSL o numerach 06T003 i 06T004, po czym ponownie przeprowadzono dwa cykle pomiarowe w INTiBS (seria II).

W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów porównawczych wykonanych w INTiBS (seria I) oraz w VSL.

Tab. 1. Wyniki pomiarów różnicy temperatury punktu potrójnego wody w komórce transferowej nr 899 i komórkach referencyjnych INTiBS i VSL.  $T_{VSL,ref}$  jest wartością średnią temperatury punktu potrójnego wody wyznaczoną w obu komórkach wzorcowych VSL.

Tab. 1. Result of measurements of the water triple point temperature difference in the transfer cell no 899 and the INTiBS reference cell and the VSL reference cells.  $T_{VSL}$  is the water triple point temperature main value for two VSL reference cells

Nr pomiaru	INT $\Delta T = T_{899} - T_{INT\ ref}$ , $\mu K$		VSL $\Delta T = T_{899} - T_{VSL\ ref}$ , $\mu K$	
	I cykl	II cykl	I cykl	II cykl
1	4	-23	-12,3	4,4
2	46	9	24,1	10,8
3	15	-35	-6,9	8,4
4	7	20	-2,4	17,7
5	15	-15	-15,7	12,8
6	14	8	-8,3	6,4
7	-6	1	-7,3	17,7
8	-10	-3	-7,8	-1,0
9	-43	-29	-17,7	3,0
10	-16	6	-	0,5
11	1	-	-	-
średnia, $\Delta T_{sr}$	2,5	-6,1	-6,0	8,1
$\sigma$	6,7	5,8	4,1	2,1

Wynikiem końcowym przeprowadzonych pomiarów jest wartość średnia  $\Delta T_{INT}$  różnicy temperatury punktu potrójnego wody w komórce transferowej i referencyjnej INTiBS wyznaczona z czterech cykli pomiarowych:

$$\Delta T_{INT} = T_{899} - T_{INT\ ref} = -1,8 \mu K,$$

z niepewnością  $u(\Delta T_{INT}) = 37 \mu K$  dla  $k = 1$  oraz wartość średnia  $\Delta T_{VSL}$  wyznaczona w dwóch cyklach pomiarowych w VSL

$$\Delta T_{VSL} = T_{899} - T_{VSL\ ref} = 1,1 \mu K$$

z niepewnością  $u(\Delta T_{VSL}) = 28 \mu K$  dla  $k = 1$ .

Szczegółowy budżet niepewności pomiarów w INTiBS i VSL przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Budżet niepewności pomiarów  
Tab. 2. The uncertainty budget

Składowe niepewności	INTiBS, $\mu K$	VSL, $\mu K$
<b>Porównanie komórek transferowej i referencyjnej (składowe dotyczą tylko porównań dwóch komórek)</b>		
Powtarzalność dla pojedynczego płaszczka lodowego (łącznie z szumami mostka)	7	11
Odtwarzalność dla różnych płaszczki lodowych	20	8
Odtwarzalność dla różnych SPRT	-	
Efekt hydrostatyczny w komórce transferowej	2	5
Efekt hydrostatyczny w komórce referencyjnej	2	
Samonagrzewanie SPRT w komórce transferowej i referencyjnej	5	7
Zaburzenia cieplne	4	5
Nieliniowość mostka	0,3	6
<b>Wzorzec krajowy (składowe odnoszące się tylko do komórek referencyjnych)</b>		
Czystość chemiczna	20	20
Skład izotopowy	3	2
Gaz resztkowy w komórce	5	3
Odtwarzalność	20	5
<b>Całkowita niepewność (<math>k=1</math>)</b>	<b>37</b>	<b>28</b>

W omówionych bilateralnych porównaniach komórek równoważność (ekwiwalencja) realizacji punktu potrójnego wody w INTiBS i VSL jest wyznaczana w następujący sposób:

$$T_{INT\ ref} - T_{VSL\ ref} = (T_{INT\ ref} - T_{899}) + (T_{899} - T_{VSL\ ref}) = 2,9 \mu K,$$

przy niepewności pomiaru  $u = 46 \mu K$  dla  $k = 1$  policzonej z zależności

$$u(T_{INT\ ref} - T_{VSL\ ref}) = \{u^2(T_{INT\ ref} - T_{899}) + u^2(T_{899} - T_{VSL\ ref})\}^{1/2} = (37^2 + 28^2)^{1/2} \mu K.$$

Przeprowadzone porównania dają bezpośrednie powiązanie z wynikami uzyskanymi w porównaniach EURAMET.T-K7.

Stopień równoważności między poszczególnymi komórkami  $D_{ij}$  jest wyznaczony w sposób następujący:

I. Stopień równoważności  $D_{VSL}$  komórki referencyjnej VSL i wartości średniej ERV – *European Reference Value* wyznaczony w porównaniach EURAMET.T-K2

$$D_{VSL} = T_{VSL\ ref} - T_{ERV} = -1,7 \mu K,$$

wartość rozszerzonej niepewności pomiaru wynosi  $U_{VSL} = 60 \mu K$  dla  $k = 2$ .

II. Stopień równoważności między INTiBS i VSL

$$D_{INT,VSL} = T_{INT\ ref} - T_{VSL\ ref} = +2,9 \mu K$$

przy niepewności pomiaru  $U_{INT,VSL} = 93 \mu K$  dla  $k = 2$ . Stąd

III. Stopień równoważności  $D_{INT}$  między komórką referencyjną wody INTiBS i ERV określa zależność:

$$D_{\text{INT}} = T_{\text{INT ref}} - T_{\text{ERV}} = (T_{\text{INT ref}} - T_{\text{VSL ref}}) + (T_{\text{VSL ref}} - T_{\text{ERV}}) = \\ = +2,9 \mu\text{K} + (-1,7 \mu\text{K}) = 1,2 \mu\text{K},$$

a wartość rozszerzonej niepewności pomiaru wynosi:

$$U_{\text{INT}} = (U_{\text{INT, VSL}}^2 + U_{\text{VSL}}^2)^{1/2} = [(93 \mu\text{K})^2 + (60 \mu\text{K})^2]^{1/2} = \\ = 111 \mu\text{K}$$

Uzyskane wyniki porównań zostały opublikowane w Metrologii w 2012 r jako *Technical Supplement* 03006 [13] i są dostępne na stronie [www.kcdb.bipm.org](http://www.kcdb.bipm.org).

## 5. Powiązanie do porównań kluczowych CCT-K7

Bilateralne porównania referencyjnej dla INTiBS komórki wody z komórką VSL dają powiązanie nie tylko z wartością średnią  $T_{\text{ERV}}$  wyznaczoną w porównaniach EURAMET.T-K7, ale także z wartością średnią  $T_{\text{KCRV}}$  (KCRV – *Key Comparison Reference Value*) wyznaczoną w porównaniach kluczowych CCT-K7 wykonywanych pod auspicjami Międzynarodowego Biura Miar [12]. Raport końcowy porównań EURAMET.T-K7, podaje wartość różnicy temperatur:

$$T_{\text{ERV}} - T_{\text{KCRV}} = 64,7 \mu\text{K}$$

przy rozszerzonej niepewności pomiaru  $U$  ( $T_{\text{ERV}} - T_{\text{KCRV}} = 39 \mu\text{K}$  dla  $k = 2$ ).

Stąd można wyznaczyć wartość różnicy

$$T_{\text{INT ref}} - T_{\text{KCRV}} = 2,9 \mu\text{K} + 64,7 \mu\text{K} = 67,6 \mu\text{K},$$

a rozszerzona niepewność pomiaru wynosi dla  $k = 2$

$$U(T_{\text{INT ref}} - T_{\text{KCRV}}) = \{(111 \mu\text{K})^2 + (39 \mu\text{K})^2\}^{1/2} = 117,6 \mu\text{K}.$$

## 6. Podsumowanie

Przeprowadzone porównania bilateralne między Instytutem Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych a Instytutem Metrologii VSL w Delft określają dokładność realizacji punktu potrójnego wody stanowiącego element utrzymywanego w INTiBS państwowego wzorca jednostki temperatury dla zakresu niskich temperatur w porównaniu z wartościami średnimi uzyskanymi w międzynarodowych porównaniach kluczowych EURAMET.T.K-7 i CCT-K7. Parametry komórki INTiBS spełniają kryteria zadane dla

referencyjnych komórek do realizacji punktu potrójnego wody, tzn. uzyskana różnica temperatur między  $T_{\text{INT ref}}$  a wartością średnią  $T_{\text{KCRV}}$  wyznaczoną w porównaniach kluczowych CCT – K7 jest mniejsza niż  $100 \mu\text{K}$ .

Porównania potwierdzają też kompetencje Laboratorium Wzorca Temperatur oraz dowodzą, że stosowane w Laboratorium wzorce oraz techniki pomiarowe są równoważne innym stosowanym w Krajowych Instytutach Metrologicznych całego świata.

## 7. Literatura

- [1] BIPM, document Mutual Recognition Arrangement of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes (MRA), 1999.
- [2] Preston-Thomas H.: The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), *Metrologia* 27, 1990.
- [3] [www.euramet.org/TC\\_projects\\_database](http://www.euramet.org/TC_projects_database)
- [4] Szymrka-Grzebyk A., Lipiński L., Kowal A., Steur P.P.M., Dematteis R.: Intercomparison of water triple point cells from INTiBS and INRIM, *Metrology and Measurement Systems XV*, 2008.
- [5] Peruzzi A i in.: Final Report on EUROMET.T-K7: Key comparison of water triple point cells, *Metrologia* 46, Tech. Suppl. 03001.
- [6] BIPM – The International Practical Temperature Scale of 1968 (IPTS-68), *Metrologia* 15, 1969.
- [7] BIPM - International Committee for Weights and Measures, Proceeding of the sessions of the 94th meeting, 2005, Recommendation 2.
- [8] Nicholas J.V. I in.: Isotopic influence on the triple point of water and the definition of the kelvin, 6th. International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science TEMPMEKO'96, 1996 – Proceedings.
- [9] Pello R., Goebel R., Kohler R.: Results of an international comparison of water triple point cells, *Metrologia*, 34, 1997.
- [10] E. Renaot et al.: Comparison of realizations of the triple-point of water; EUROMET project No 549, 9th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, TEMPMEKO'05, 2005 - Proceedings .
- [11] EUROMET Guide n. 3, "Euromet Guidelines on Conducting Comparisons", version 02.7.
- [12] M. Stock, et al.: Final Report on CCT-K7. Key comparison of water triple point cells, *Metrologia* 43 (Tech. Suppl), 03001,
- [13] Peruzzi A. Szymrka-Grzebyk A: Final report on EURAMET.T-K7.2: Bilateral comparison of water triple point cells, *Metrologia*, 2012, 49, Tech. Suppl., 03006.

otrzymano / received: 04.02.2013

przyjęto do druku / accepted: 01.04.2013

artykuł recenzowany / revised paper

## INFORMACJE

# Zapraszamy do publikacji artykułów naukowych w czasopiśmie PAK

WYDAWNICTWO PAK  
ul. Świętokrzyska 14A, pok. 530, 00-050 Warszawa,  
tel./fax: 22 827 25 40

Redakcja czasopisma POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA  
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, pok. 30b,  
tel./fax: 32 237 19 45, e-mail: [wydawnictwo@pak.info.pl](mailto:wydawnictwo@pak.info.pl)