

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

Rafał Jarosz

## 1. Wstęp

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

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

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

a) dla wody

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

b) dla lodu

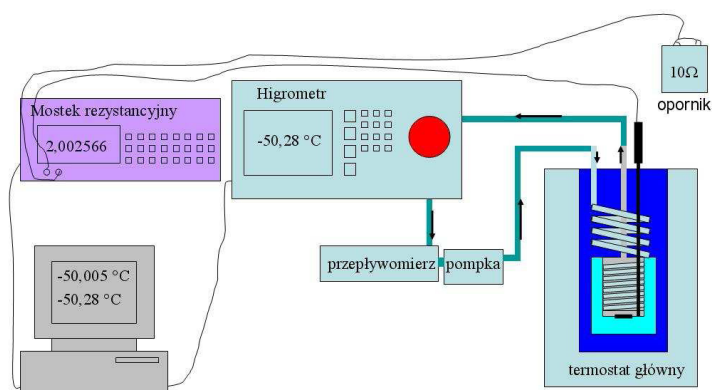
$$\ln(p_i(T)) = -6024,5282 \cdot T^{-1} + 29,32707 + 1,0613868 \cdot 10^{-2} \cdot T + 1,3198825 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,49382577 \cdot \ln(T) \quad (2)$$

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

## 2. Generator temperatury punktu rosy DPG1

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

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



Rys. 1. Generator temperatury punktu rosy/szronu DPG1

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

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

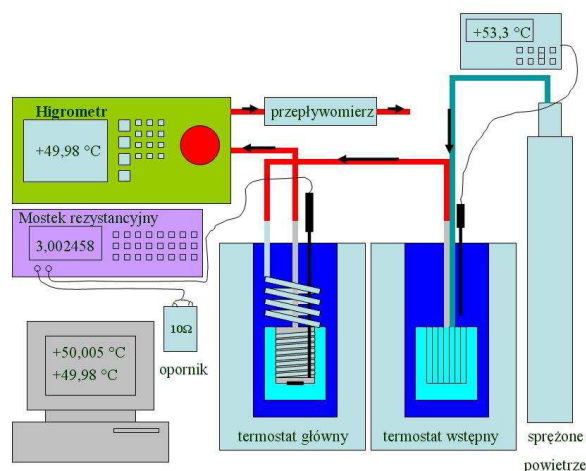
Generator DPG1 przeznaczony jest do wzorcowań higrometrów punktu rosy/szronu w zakresie od  $-80\text{ °C}$  do  $+20\text{ °C}$  temperatury punktu szronu/rosy [3]. W zakresie niskich temperatur ( $-80\text{ °C}$  ÷  $-30\text{ °C}$ ) układ zamknięty DPG1 łączy się za pomocą rurek ze stali nierdzewnej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

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

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

### 3. Generator temperatury punktu rosy DPG2

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



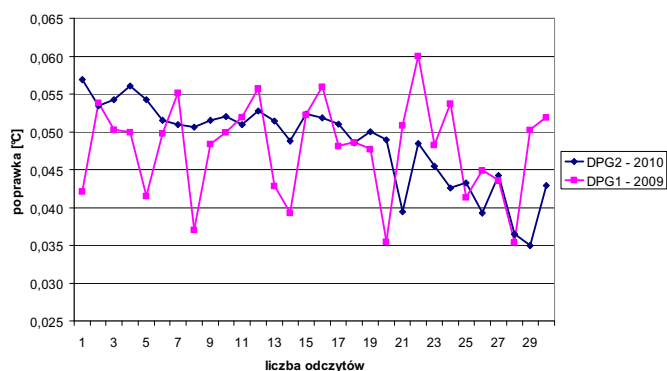
Rys. 2. Generator temperatury punktu rosy/szronu DPG2

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

### 4. Wyniki porównań DPG1 z DPG2

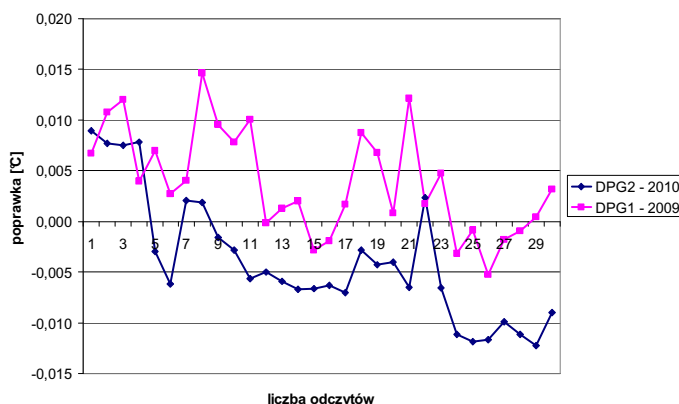
Generatory DPG1 oraz DPG2 ze względu na zastosowane medium w termostatach alkohol etylowy i woda destylowana posiadają wspólny zakres pracy, tj. od +10 °C do +20 °C. W celu walidacji obu metod generowania nasyconego strumienia powietrza, generatory DPG1 i DPG2 uczestniczyły w porównaniach międzynarodowych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

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



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

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



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

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

## Literatura

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