

# Konwencja Metryczna a niepewność pomiaru

Paweł Fotowicz

Główny Urząd Miar

Rocznica Konwencji Metrycznej, podpisanej 20 maja 1875 roku, stała się ważną datą dla środowiska metrologicznego, dzisiaj również związaną z obchodami Światowego Dnia Metrologii. Na mocy tej Konwencji społeczność międzynarodowa powołała do życia Międzynarodowe Biuro Miar. Ta naczelna w świecie instytucja metrologiczna od wielu lat stoi na czele zmian jakie dokonują się m. in. w przestrzeni naukowej metrologii teoretycznej. Zmiany te uwidaczniają się w postaci wyrażania niepewności pomiaru.

Można postawić pytanie, czy istnieje jakikolwiek historyczny kontekst łączący współczesne podejście w dziedzinie wyrażania niepewności pomiaru a datą Konwencji Metrycznej. Kontekstem tym jest właśnie rok 1875. W roku tym miało miejsce drugie wydanie pracy Sir George Biddell Airy (1801 – 1892) pt. „On the algebraical and numerical theory of errors of observations and the combination of observations”.

Kim był Sir George. Na pewno osobą zasłużoną dla korony brytyjskiej: przewodniczący Royal Society, dyrektor Królewskiego Obserwatorium Astronomicznego w Greenwich, profesor Uniwersytetu Cambridge, o nie bagatelnych zasługach również dla nauki, szczególnie optyki: odkrywca zjawiska astygmatyzmu i dyfrakcji. Podał opis matematyczny (funkcja Airy) zjawiska dyfrakcji na małym otworze, zwanego plamką Airy.

Airy, choć nie wynika to bezpośrednio z przytoczonego w pełnym brzmieniu tytułu swojej pracy, był również prekursorem pojęcia niepewność (uncertainty). Postuluje rozumienie błędu pomiaru (errors) w kontekście niepewności pomiaru, używając pojęć „uncertain error” lub „uncertainty”. Przez niepewność błędu uważa każdą jego wartość, łącznie z przypadkiem, gdy może on być równy zero. Innymi słowy błąd pomiaru dla Airy to zbiór jego wartości powtarzających się w danym pomiarze z określoną częstością. Z dzisiejszego punktu widzenia można by powiedzieć, że błąd tworzy rozkład prawdopodobieństwa.

Autor stwierdza, na kartach swojej pracy, że prawdopodobieństwo, iż błąd może znaleźć się w przedziale pomiędzy określonym  $x$  a  $x + \delta x$  wynosi:

$$\frac{1}{c\sqrt{\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{c^2}} \cdot \delta x \quad (1)$$

Jak nie trudno się domyśleć wzór powyższy zawiera równanie krzywej dzwonowej (użycie tej krzywej do opisu rozkładu błędu pomiaru postulował już Gauss). W powyższym wzorze występuje parametr  $c$ , który autor nazywa *modulus* i definiuje go jako:

$$c = \text{Error of Mean Square} \times 1,414214 \quad (2)$$

I tu nie trudno się domyśleć, że *modulus* Airy jest równy iloczynowi błędu średniego kwadratowego i pierwiastka z dwóch. Dodatkowo, w konkluzji, autor nazywa wzór (1) prawem częstości błędu (Law of Frequency of Error), które wyraża prawdopodobieństwo określonej wartości błędu zawartej w przedziale pomiędzy  $x$  i  $x + \delta x$ . Jednocześnie stwierdza, że *modulus* jest stały dla określonego pomiaru lecz inny dla różnych pomiarów. Z dzisiejszego punktu widzenia jest to oczywiste, gdyż dla każdej serii pomiarowej uzyskujemy określoną

wartość odchylenia standardowego eksperymentalnego, lecz możliwe są różne jego wartości dla każdej innej serii obserwacji.

Istotnym wnioskiem Airy jest również twierdzenie, że w przypadku łączenia błędów pomiaru  $X$  i  $Y$  ich wspólny moduł podlega prawu:

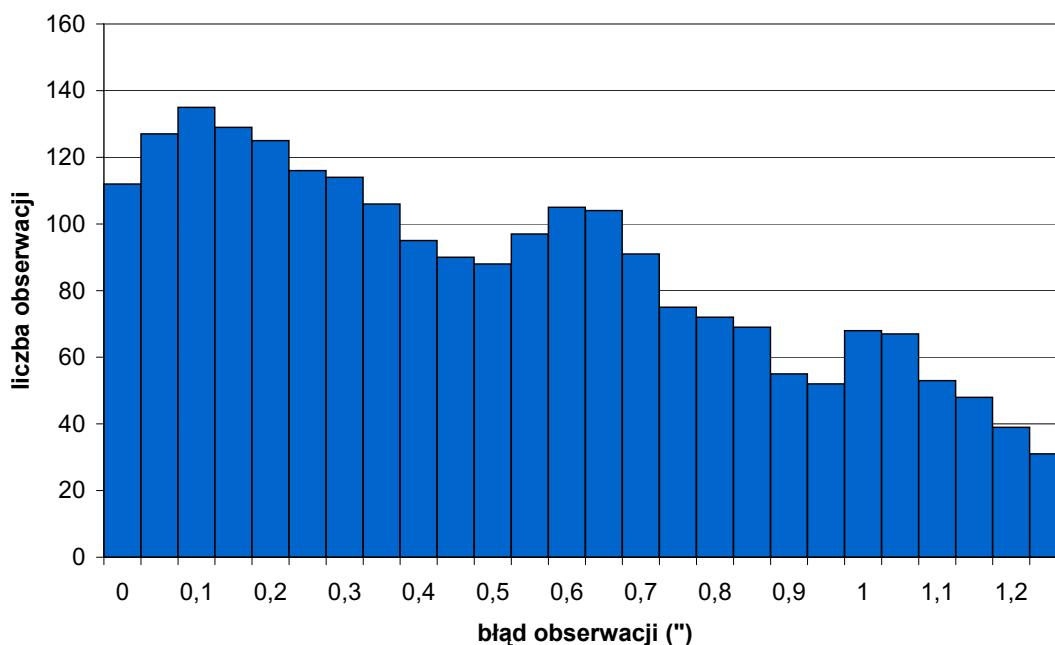
$$\text{square of modulus for } Z = \text{square of modulus for } X + \text{square of modulus for } Y \quad (3)$$

co jest równoznaczne z zapisem współczesnego równia niepewności pomiaru (sumowania wariancji) w postaci:

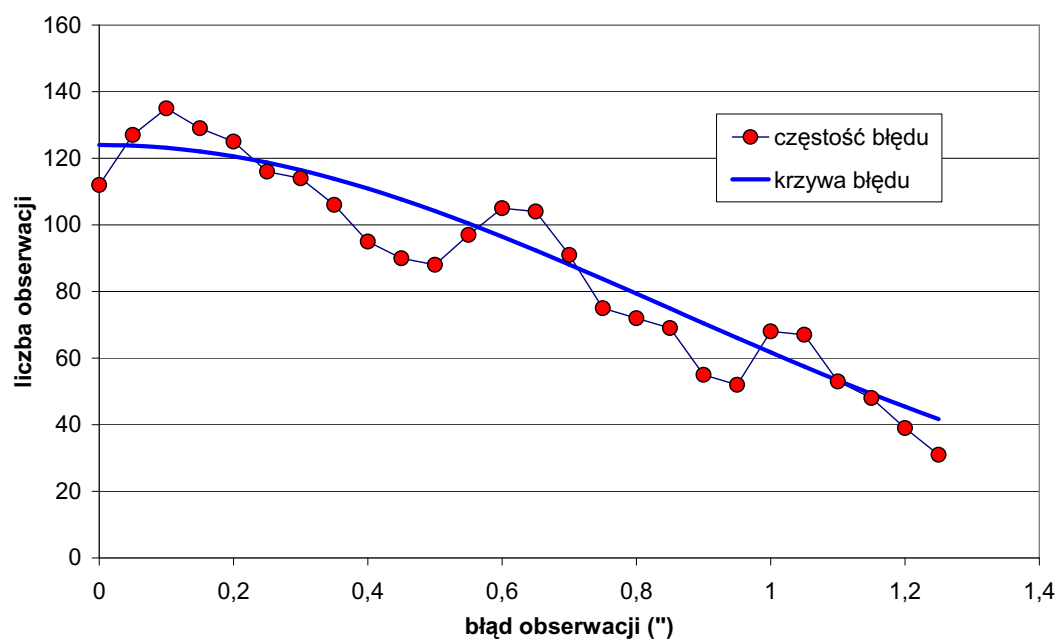
$$u^2(Z) = u^2(X) + u^2(Y) \quad (4)$$

Dodatkowym aspektem dzieła Airy jest również próba doświadczalnego zweryfikowania krzywej błędu. Opiera się tu na wynikach obserwacji Gwiazdy Polarnej wykonywanych w Royal Observatory w latach od 1869 do 1873. Na podstawie zebranych wyników pomiaru oblicza średni błąd obserwacji. Wyznacza błędy wszystkich obserwacji i grupuje je w określonych przez siebie przedziałach wartości, a następnie oblicza, ile z tych wartości znajduje się w poszczególnych grupach. Tworzy w ten sposób histogram błędu pomiaru położenia kąтового Polaris, zmierzonego w królewskim obserwatorium. Na podstawie danych Airy można wyznaczyć histogram, jak na rys. 1. Dodatkowo, autor pracy, oblicza *modulus* i na podstawie tej wartości wyznacza dla każdego przedziału teoretyczną wartość częstości błędu. Uzyskane wyniki obliczeniowe można zobrazować jak na rys. 2.

Pewną ciekawostką językową, związaną z tą pracą Airy, jest to, że podobne obliczenia autor zaleca wykonywać osobie którą nazywa „the computer”. Dziś trudno byłoby sobie wyobrazić wykonywanie obliczeń histogramu błędu pomiaru, bez udziału komputera, szczególnie metodą Monte Carlo, zalecaną przy opracowaniu wyniku pomiaru przez najnowsze dokumenty wydawane przy udziale Międzynarodowego Biura Miar.



Rys. 1. Histogram błędu pomiaru położenia gwiazdy polarnej w Royal Observatory



Rys. 2. Eksperymentalny i teoretyczny rozkład błędu pomiaru położenia gwiazdy polarnej

Tak oto rok 1875 rozpoczyna budowanie nowoczesnej metrologii, z jednej strony powołując do życia stabilną strukturę metrologiczną o zasięgu międzynarodowym na mocy Konwencji Metrycznej, a z drugiej wydając dzieło tworzące podstawy współczesnego sposobu wyrażania niepewności pomiaru, łącznie z użytym terminem. Współcześnie wydawane dokumenty pod egidą Międzynarodowego Biura Miar, dotyczące opracowania danych pomiarowych (*Evaluation of measurement data*), czerpią ideowo z pracy Airy, rozwijając koncepcję opisu wielkości mierzonej w postaci zbioru możliwych dla niej wartości, przedstawianych w postaci numerycznie obliczanych rozkładów prawdopodobieństwa.

Rok Konwencji Metrycznej można zatem uznać również za rok niepewności pomiaru, jako terminu i podejścia w dziedzinie opracowania danych pomiarowych.