

Szacowanie zdolności pomiarowej CMC laboratoriów wzorcujących przepływomierze cieczy i gazów

Wiesław Gosk

1. Wstęp

W dniu 24 września 2009 r. ukazał się komunikat European co-operation for Accreditation informujący o porozumieniu między międzynarodową organizacją Europejska Współpraca w Dziedzinie Akredytacji (EA) i Międzynarodowym Komitetem Miar (CIPM) w sprawie ujednoczenia terminologii dotyczącej najmniejszej niepewności pomiarowej podczas wzorcowania i wprowadzenia w tym zakresie jednego terminu zdolność pomiarowa CMC (*Calibration and Measurement Capability*). Porozumienie to oznacza, że wszystkie laboratoria akredytowane stosujące termin najlepsza możliwość pomiarowa BMC (*Best Measurement Capability*) są zobowiązane do stosowania w jego miejsce terminu zdolność pomiarowa – CMC (stosowanego dotychczas tylko przez krajowe instytucje metrologiczne). Porozumienie było uwieńczeniem trwających od 2006 r. dyskusji nad ujednoczeniem terminologii w tym zakresie, w wyniku której strony doszły do wniosku, że między oboma pojęciami nie ma merytorycznych różnic.

W ślad za komunikatem EA Polskie Centrum Akredytacji wydało własny komunikat ustalając termin wprowadzenia powyższych zmian na 31.12.2010 r. Następnie dokumentem [2] PCA dokonało redefinicji stosowanego dotychczas w [1] pojęcia BMC. Z początkiem 2010 r. rozpoczął się zakrojony na szeroką skalę (bo obejmujący wszystkie laboratoria akredytowane) proces przejścia z BMC na CMC. Procesem przejścia z BMC na CMC objęte zostały także laboratoria akredytowane lub wnioskujące o akredytację w dziedzinie przepływu.

2. Szacowanie najmniejszej niepewności pomiaru przy wzorcowaniu przepływomierzy w aspekcie definicji zdolności pomiarowej CMC

Szacowanie najmniejszej niepewności pomiaru przy wzorcowaniu przepływomierzy powinno zgodnie z definicją CMC [2] odnosić się do warunków rutynowego wzorcowania rzeczywistych obiektów. W wielu laboratoriach akredytowanych w dziedzinie przepływów oszacowano dotychczasowe BMC bez uwzględniania składowej pochodzącej od wzorcowanego obiektu. Czy wzorcowanie obiektu w procesie oceny CMC jest rzeczywiście konieczne? Przecież uzyskanie CMC na poziomie dotychczasowego BMC (bez uwzględnionego wpływu obiektu) zależy tylko od „zaradności” laboratorium w pozyskaniu odpowiedniego obiektu wzorcowania – takiego, którego wpływ na niepewność wyniku wzorcowania będzie znikomy. Otóż jest konieczne. Jeżeli w procesie oceny CMC nie zostanie przeprowadzone wzorcowanie rzeczywistego obiektu, nawet takiego „prawie idealnego”, nigdy nie zostaną ujawnione i oszacowane wpływy na niepewności wzorcowania takich czynników jak:

operator (dowolnie wybrany z listy personelu akredytowanego) i czas (powodujący zmiany warunków wykonywania pomiarów). To dopiero te czynniki tworzą warunki rutynowo wykonywanego wzorcowania – warunki odtwarzalności wewnątrzlaboratoryjnej (wg [3] tzw. pośrednie warunki precyzji). W dziedzinie przepływów cieczy i gazów lista czynników wpływających na wartość wariancji wewnątrzlaboratoryjnej jest zresztą szersza i obejmuje wpływy zaburzeń przepływu wzorcowego (w małej i dużej skali) na obiekt wzorcowany i wpływy niedokładnej odtwarzalności (w serii pomiarów) wartości nastawy wzorcowego strumienia objętości. Wpływów tych nie obejmuje analiza niepewności wyznaczania wartości odniesienia (wzorcowego strumienia objętości). Nie wystarczy, w celu oszacowania niepewności, do budżetu niepewności przyjąć jakąś ograniczoną próbę z pomiarów wykonanych w warunkach powtarzalności. Aby sprostać definicyjnemu wymogowi „rutynowości” wzorcowania trzeba przeprowadzić eksperyment, o przemyślanym planie i na możliwie dużej próbie, z właściwymi statystycznymi miarami niepewności wnoszonej do niepewności wzorcowania.

Wreszcie występujący w definicji aspekt dowodów eksperymentalnych w procesie szacowania CMC. Podstawowe dowody są cztery: budżet niepewności z wyznaczoną niepewnością wzorca pomiarowego, przeprowadzone wzorcowania zewnętrzne, wyniki porównań międzylaboratoryjnych i wyniki wzorcowań własnych. Rola właściwie przeprowadzonej analizy niepewności wnoszonej przez wzorzec roboczy laboratorium jest oczywista, ale niewystarczająca do oszacowania CMC. Dowody z przeprowadzonych „tych najlepszych” wzorcowań zewnętrznych są dowodami najsłabszymi. Wzorcowanie jest oparte na ogół na ograniczonej próbie i w ograniczonym zakresie, co jest podyktowane utylitarnym charakterem tego wzorcowania. Dowody z przeprowadzonych porównań międzylaboratoryjnych nie są o wiele silniejsze, bo oparte na wzorcowniach o podobnym jw. charakterze. Wydaje się, że rola tego dowodu w zastosowaniu do szacowania CMC jest przeceniana. Owszem, wynik (pozytywny) porównania międzylaboratoryjnego waliduje metodę i potwierdza miarodajność wzorcowań, ale wynik oszacowania CMC tylko statystycznie weryfikuje. Do najsilniejszych należą dowody z przeprowadzonych wzorcowań wewnętrznych realizowanych w ramach planowanych eksperymentów oszacowania CMC. Bardzo użyteczne okazały się także zapisy z wzorcowań realizowanych dotychczas przez laboratoria w celu potwierdzenia jakości wyników wzorcowania, szczególnie stanowiących wystarczająco dużą próbę wyników pomiarów.

3. Zmiany w zakresach akredytacji laboratoriów wzorcujących przepływomierze związane z przejściem z BMC na CMC

Tabela 1 i tabela 2 zawierają wykaz wszystkich akredytowanych laboratoriów wzorcujących odpowiednio, przepływomierze do gazów i aspiratory oraz rotametry i anemometry do gazów. W wykazie pominięto gazomierze (zakres ich obciążeń pomiarowych pokrywa się z zakresem pomiarowym wzorcowanych przepływomierzy). Oprócz aktualnych zakresów akredytacji z przyjętą wartością CMC, podano także poprzedzającą ją wartość BMC. W przypadku wzorcowania przepływomierzy podano wartości CMC uzyskiwane przez GUM, a dla anemometrów przez PTB (GUM nie wykonuje wzorcowania anemometrów). Dla rotametrów i aspiratorów informacji o CMC w bazie BIPM nie podano.

Tabela 1. Zestawienie akredytowanych laboratoriów wzorcujących przepływomierze do gazów i aspiratory (wg www.pca.gov.pl)

Lp.	Nazwa organizacji	Rodzaj przyrządu pomiarowego	Zakres pomiarowy	Przepływomierze			Aspiratory		
				BMC (2009)	CMC (2010)	CMC GUM	BMC (2009)	CMC (2010)	CMC NMI
1	GIG Katowice	Pyłomierze typu CIP-10	(9,8 ÷ 19,2) dm ³ /h	-	-	-	0,09 dm ³ /min	0,13 dm ³ /min	-
		Pyłomierze typu Barbara 3A	(4,5 ÷ 5,5) dm ³ /h				0,1 dm ³ /min	0,13 dm ³ /min	
		Aspiratory	(1,7 ÷ 2,4) dm ³ /h				0,09 dm ³ /min	0,13 dm ³ /min	
2	PGNiG Warszawa	Przepływomierze	(0,016 ÷ 16) m ³ /h (0,1 ÷ 160) m ³ /h (1,31 ÷ 6500) m ³ /h	0,11 % 0,17 % 0,33 %	0,18 % 0,18 % 0,33 %	0,13 % 0,13 % 0,30 %	-	-	-
3	CIOP Warszawa	Przepływomierze mierników wydatku energetycznego	(10 ÷ 65) dm ³ /min	-	1 %	0,13 %	-	-	-
		Aspiratory	(0,1 ÷ 0,3) dm ³ /min (1 ÷ 5) dm ³ /min	-	-	-	-	1 %	-
4	EMIO Wrocław	Przepływomierze elektroniczne	(3 ÷ 11) m ³ /h	0,1 m ³ /h	0,1 m ³ /h	0,13 %	-	-	-
		Aspiratory elektroniczne	(10 ÷ 100) dm ³ /h	1,0 dm ³ /h	1,0 dm ³ /h	-	1,0 dm ³ /h	1,0 dm ³ /h	-
5	ZAP H. Iszczek Bestwinka	Przepływomierze	(1,2 ÷ 3) dm ³ /h (3 ÷ 20) dm ³ /h (20 ÷ 70) dm ³ /h (70 ÷ 7200) dm ³ /h	0,8 %	1,70 % 1,20 % 0,79 % 0,69 %	0,13 % 0,13 % 0,13 % 0,13 %	-	-	-
6	Laboserwis Katowice	Przepływomierze	(10 ÷ 140) dm ³ /h	-	1,5 %	0,13 %	-	-	-
		Aspiratory	(10 ÷ 70) dm ³ /h	-	-	-	-	2 %	-

Tabela 2. Zestawienie akredytowanych laboratoriów wzorcujących rotametry do gazów i anemometry (wg www.pca.gov.pl)

Lp.	Nazwa organizacji	Rodzaj przyrządu pomiarowego	Zakres pomiarowy	Rotametry			Anemometry		
				BMC (2009)	CMC (2010)	CMC NMI	BMC (2009)	CMC (2010)	CMC PTB
1	PGNiG Warszawa	Rotametry	(0,016 ÷ 16) m ³ /h (0,1 ÷ 160) m ³ /h	0,11 % 0,17 %	0,18 % 0,18 %	-	-	-	-
2	CIOP Warszawa	Anemometry	(0,15 ÷ 1,25) m/s (1,25 ÷ 7,5) m/s	-	-	-	2 % + 0,01 m/s 2 % + 0,025 m/s	0,06 m/s 0,21 m/s	0,1 %
			(7,5 ÷ 45) m/s				1 % + 0,075 m/s	0,70 m/s	(0,01 ÷ 0,05) m/s
3	OUM Poznań	Rotametry	(1 ÷ 30) dm ³ /h (30 ÷ 15000) dm ³ /h	(1) 0,38 %	(2) 0,38 %	-	-	-	-
4	IMG PAN Kraków	Anemometry	(0,4 ÷ 1,5) m/s	-	-	-	0,05 m/s	0,05 m/s	0,1%
			(1,5 ÷ 40) m/s				(3)	(4)	(0,01 ÷ 0,05) m/s
5	EMIO Wrocław	Prędkościomierz wiatraczkowy	(1,0 ÷ 6,0) m/s	-	-	-	(0,3 ÷ 1,1) m/s	(0,3 ÷ 1,1) m/s	0,1 %
		Prędkościomierz spiętrzeniowy	(5,0 ÷ 21,0) m/s				-	(1,0 ÷ 0,3) m/s	(0,01 ÷ 0,05) m/s
6	ZAP H. Iszczek Bestwinka	Rotametry	(1,2 ÷ 7200) dm ³ /h	0,8 %	5,48 % ÷ 0,72 %	-	-	-	-

- (1) $CMC = (0,0004 \cdot Q^2 - 0,00005 \cdot Q + 0,7327) \%$
 (2) $CMC = (0,0007 \cdot Q^2 - 0,01 \cdot Q + 0,85) \%$
 (3) $CMC = \left[2,83 \cdot 10^{-4} V^2 - 1,83 \cdot 10^{-3} V + 4,4716 \cdot 10^{-2} + \frac{0,18212}{V + 0,18212} + \frac{0,026413}{(V + 0,18212)^2} \right] \text{ m/s}$
 (4) $CMC = [0,0312 \cdot V - 0,565 + 6,24(V + 6,45)] \text{ m/s}$ V – prędkość powietrza

Można zauważyć, że zmiany w zakresach akredytacji laboratoriów związane z przejściem z BMC na CMC mają raczej charakter „kosmetyczny” i nie naruszają ustalonej w oparciu o BMC hierarchii. Laboratoria wzorujące przepływomierze i rotometry były zresztą bardzo zróżnicowane pod względem poziomu BMC przed tą zmianą. Z kolei w grupie laboratoriów wzorujących aspiratory istnieje specjalizacja i nawet jeżeli zakresy pomiarowe częściowo zachodzą za siebie, dotyczą innego rodzaju wzorcowanych przyrządów. Także w gronie laboratoriów wzorujących anemometry utrzymany został dotychczasowy układ z IMG PAN z Krakowa (poz. 4, tabela 2) jako laboratorium odniesienia. Tylko w nielicznych przypadkach zachowana została dotychczasowa wartość BMC. Oczywiście można przyjąć, że te wartości zostały od razu oszacowane z uwzględnieniem składowej pochodzącej od wzorcowanego obiektu albo, że wzorcowano obiekty nie wnoszące istotnego wpływu na niepewność pomiarów. Niemniej na te przypadki, w szczególności zaś przypadki, w których wartości CMC są mniejsze od BMC, należałoby zwrócić szczególną uwagę w kolejnej ocenie laboratoriów, w których one występują. Nie powinny natomiast budzić zaniepokojenia (o ile oszacowania CMC są prawidłowe) sytuacje, w których CMC laboratorium zbliża się do CMC NMI (poz. 2 w tabeli 1) – to efekt rozwoju akredytowanego laboratorium. O relacji $CMC > BMC$ w przypadkach laboratoriów, w których najlepsza możliwość pomiarowa jest funkcją wartości wielkości mierzonej (poz. 3 i poz. 4 w tabeli 2), można się oczywiście przekonać wykonując stosowne obliczenia.

4. Podsumowanie

Operację wprowadzenia zdolności pomiarowej CMC do zakresów akredytacji laboratoriów wzorujących mamy za sobą. Było to dla większości ocenianych podmiotów i oceniających je auditorów i ekspertów PCA doświadczenie nowe. Obie strony sprostały temu zadaniu. Ale wdrożenie CMC do praktyki metrologicznej jest procesem, procesem związanym z systemem jakości i jako taki wymaga ciągłego doskonalenia. Obszarów doskonalenia jest kilka. Z doświadczeń auditowych autora wynika potrzeba analizy wagi dowodów wymaganych od laboratorium na potwierdzenie uzyskiwanych wartości CMC, w szczególności porównań międzylaboratoryjnych w zastosowaniu do szacowania CMC. Należy zauważyć, że porównania te, w odróżnieniu od porównań kluczowych prowadzonych w procesie ustalania CMC przez NMI nie mają roli „twórczej” [4] lecz wyłącznie weryfikacyjną. W dziedzinie przepływów są to porównania bardzo kosztowne. Pogłębionemu studium, zdaniem autora, wymaga sprawa niepewności wzorcowania w warunkach odtwarzalności wewnątrzlaboratoryjnej i ustalenia pośrednich miar precyzji. Większość uzyskanych doświadczeń będzie mogła być z powodzeniem wykorzystana w szacowaniu CMC laboratoriów wzorujących przepływomierze cieczy, które jak należy przypuszczać, w niedługim czasie będą ubiegać się o akredytację.

Literatura

1. Dokument EA-4/02: *Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu*, Główny Urząd Miar, Warszawa 2001.
2. Dokument DAP-04: *Akredytacja laboratoriów wzorcujących*, Polskie Centrum Akredytacji, wydanie 6, Warszawa 2009.
3. PN-ISO 5725-3: *Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych i wyników pomiarów. Część 3: Pośrednie miary precyzji standardowej metody pomiarowej*, Polski Komitet Normalizacji, Warszawa 2007.
4. Fotowicz P.: *Niepewność pomiaru w porównaniach kluczowych i międzylaboratoryjnych*, V Konferencja Naukowo-Techniczna PPM`06.