

# Wzorcowanie przetworników ciśnienia w OUM w Szczecinie

## Calibration of pressure transducers at OUM Szczecin

Alfred Kuczyński (Okręgowy Urząd Miar w Szczecinie)

W artykule przedstawiono ogólne informacje na temat wzorcowania przetworników ciśnienia w Laboratorium Interdyscyplinarnym Okręgowego Urzędu Miar w Szczecinie. Opisano metody stosowane do wzorcowania tych przyrządów pomiarowych oraz wyposażenie pomiarowe. Przedstawiono również możliwości pomiarowe laboratorium w tym obszarze, zgodne z aktualnym zakresem akredytacji.

The article presents general information on calibration of pressure transducers in the Interdisciplinary Laboratory of the Regional Office of Measures in Szczecin. The calibration methods and measuring equipment used to calibrate these measuring instruments are described. The measurement possibilities of the laboratory in this area were also presented in line with the current scope of accreditation.

**Słowa kluczowe:** przyrządy pomiarowe, wzorcowanie  
**Keywords:** measuring instruments, calibration

### Wstęp

Ciśnienie jest wielkością skalarną, a jednostką ciśnienia jest paskal, oznaczenie Pa. Ciśnienie jest to stosunek siły działającej na określoną powierzchnię do wartości tej powierzchni:

$$p = \frac{F}{\Delta S} \quad (1)$$

gdzie  $F$  oznacza wartość siły działającej na powierzchnię  $\Delta S$ , prostopadle do tej powierzchni. Rozporządzenie Rady Ministrów z 30 listopada 2006 roku [1] dopuszcza stosowanie jednostki miary pod nazwą i oznaczeniem bar: 1 bar =  $10^5$  Pa.

Ciśnienie może być określone względem próżni – tzw. ciśnienie bezwzględne, czyli absolutne lub względem ciśnienia w otoczeniu – ciśnienie względne (podciśnienie lub nadciśnienie). Zgodnie z prawem Pascala, jeżeli nie uwzględnimy ciśnienia hydrostatycznego ciśnienie zewnętrzne w płynie zamkniętym w naczyniu jest przekazywane jednakowo na każdą część płynu oraz na ścianki naczynia. Przy uwzględnieniu ciśnienia hydrostatycznego ciśnienie w płynie na tym samym poziomie jest jednakowe, natomiast różnicę ciśnień między dwiema wysokościami  $h_1$  i  $h_2$  opisuje wzór:

$$p_1 - p_2 = -\rho g(h_2 - h_1) \quad (2)$$

gdzie  $\rho$  to gęstość płynu, a  $g$  – przyspieszenie ziemskie.

Przyrządy mierzące ciśnienie bezpośrednio określają jego wartość z podstawowego równania (1) lub (2). Przyrządy do pomiaru pośredniego wykorzystują zjawisko ugięcia materiału elastycznego lub efekt elektryczny, optyczny, chemiczny w celu ustalenia zmierzonego ciśnienia. Przetworniki pomiarowe są instrumentami, które przekształcają działający na nie nacisk na sygnał wyjściowy, który generalnie jest elektryczny lub pneumatyczny. Ten sygnał jest funkcją ciśnienia wejściowego i może mieć postać cyfrową lub analogową.

### Przetworniki ciśnienia

Przetworniki ciśnienia (inaczej nazywane czujnikami ciśnienia) są urządzeniami, przetwarzającymi fizyczną wartość ciśnienia na sygnał.

Przetwornik ciśnienia jest elementem, który składa się z przetwornika ciśnienia i modułu do kondycjonowania i wzmacniania sygnału przetwornika. W zależności od modelu informacje wyjściowe przetwornika ciśnienia mają postać [2]:

- napięcia (5 V, 10 V, ...),
- prądu (4 mA – 20 mA, ...),
- względnej zmiany rezystancji (1 mV/V, ...),
- częstotliwości,
- formatu cyfrowego (komunikacja RS 232; RS485).

Do działania przetworniki ciśnienia potrzebują ciągłego zasilania elektrycznego, które nie musi być specjalnie stabilizowane.



## Metody pomiarowe oraz wzorce odniesienia, stosowane do wzorcowania przetworników ciśnienia w OUM w Szczecinie

Metoda pomiarowa, stosowana do wzorcowania przetworników ciśnienia, zawarta w instrukcji wzorcowania nr IWN-P-01 pt. „Ciśnieniomierze sprężynowe, elektroniczne i przetworniki ciśnienia” [3], jest analogiczna do powszechnie stosowanych metod wzorcowania ciśnieniomierzy sprężynowych i elektronicznych, opartych na zasadzie porównania wartości uzyskanych na przyrządzie wzorcowanym z wartością ustawioną (wskazaną) na wzorcu.

### Zakres stosowania

Instrukcja IWN-P-01 dotyczy wzorcowania przetworników ciśnienia przeznaczonych do pomiaru ciśnienia w zakresach:

( $-0,1 \div 0,6$ ) MPa – gdy czynnikiem przekazującym ciśnienie jest powietrze,

( $-0,1 \div 10$ ) MPa – gdy czynnikiem przekazującym ciśnienie jest azot,

( $0,1 \div 70$ ) MPa – gdy czynnikiem przekazującym ciśnienie są olej mineralny i woda,

( $0,02 \div 110$ ) MPa – gdy czynnikiem przekazującym ciśnienie jest olej mineralny,

przy najczęściej występujących sygnałach elektrycznych wyjściowych o wartościach w zakresach ( $4 \div 20$ ) mA i ( $0 \div 10$ ) V.

### Wyposażenie pomiarowe

Wyposażenie pomiarowe, stosowane w procesie wzorcowania, według przyjętej w OUM w Szczecinie kategoryzacji obejmuje:

- wzorce i przyrządy pomiarowe: ciśnieniomierz obciążnikowo-tłokowy, precyzyjny elektroniczny kontroler ciśnienia, ciśnieniomierz elektroniczny, multimetr cyfrowy, termohigrometr,

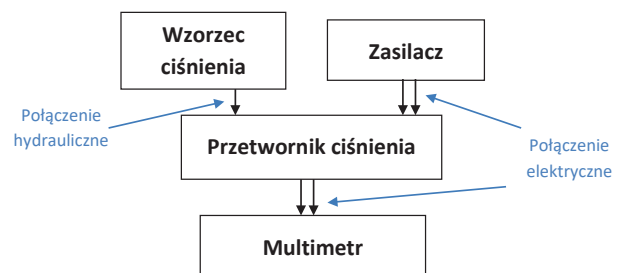
- urządzenia pomocnicze: kalibrator (zasilacz), zestaw kluczy i uszczelki, zestaw łączników redukcyjnych, zadajnik ciśnienia, butla z azotem.

### Warunki środowiskowe

Przyrząd wzorcowany umieszcza się w pomieszczeniu, w którym wykonuje się wzorcowanie, na co najmniej 24 godziny przed przystąpieniem do wzorcowania. Wzorcowanie wykonuje się w temperaturze ( $23 \pm 3$ ) °C, przy wilgotności ( $50 \pm 30$ ) %.

### Przebieg wzorcowania

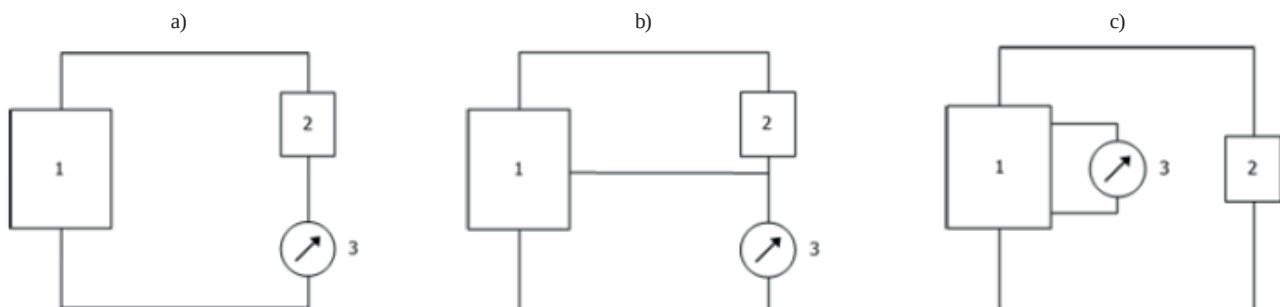
Po wykonaniu oględzin zewnętrznych i zapoznaniu się z dokumentacją techniczną wzorcowanego przetwornika ciśnienia, zostaje przygotowany odpowiedni układ pomiarowy, według ogólnego schematu, jak na rys. 1.



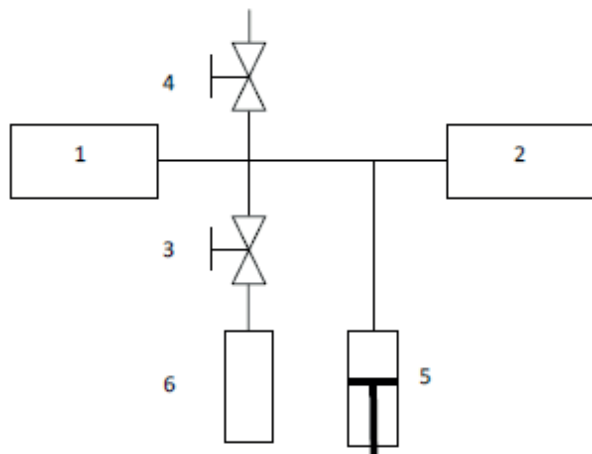
Rys. 1. Ogólny schemat układu pomiarowego

Szczegółowa konfiguracja układu pomiarowego jest zależna od użytego medium pomiarowego, wzorca oraz złącza przetwornika (rys. 2). Dobierany jest odpowiedni wzorec (lub wzorce) ze względu na czynnik przekazujący ciśnienie (powietrze, azot, olej lub/i woda), zakres pomiarowy (pokrywający punkty wzorcowania przyrządu) i niepewność wzorca (w zależności od posiadanych informacji, danych producenta lub deklaracji klienta).

Wybrane wzorce przygotowywane są do pracy zgodnie z instrukcją obsługi producenta. Za pomocą odpowiednio dobranego złącza przyrząd wzorcowany łączy jest



Rys. 2. Podstawowe sposoby podłączenia przetwornika: a) metoda dwuprzewodowa, b) metoda trójprzewodowa, c) metoda czteroprzewodowa: 1 – przetwornik, 2 – zasilanie, 3 – miernik elektryczny [2]



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego przy wzorcowaniu azotem z wykorzystaniem ciśnieniomierza obciążnikowo-tłokowego jako wzorca odniesienia: 1 – wzorec, 2 – obiekt wzorcowany, 3 – zawór doprowadzający medium, 4 – zawór odprowadzający medium, 5 – tłok regulujący, 6 – źródło ciśnienia [2]

Złącza elektryczne przetwornika są przyłączane odpowiednio do multimetru i zasilacza. Na multimetrze wybierany jest zakres pomiarowy odpowiadający sygnałowi wyjściowemu przetwornika (V lub mA). Na zasilaczu ustawiamy właściwe dla danego typu przetwornika napięcie zasilające. Po zmontowaniu układu pomiarowego wykonywane jest sprawdzenie poprawności jego działania. Obejmuje to właściwą odpowiedź wskazań multimetru na zmiany ciśnienia oraz test szczelności układu hydraulicznego (pneumatycznego). Pomiary wykonywane są w punktach pomiarowych uzgodnionych z klientem. Wskazanie odczytane jest z wyświetlacza multimetru. Jako rozdzielczość wskazania przyjmowana jest ostatnia cyfra znacząca odczytywana z multimetru. Wykonywanych jest 5 serii pomiarowych. Na jedną serię składa się pomiar dla rosnących wartości ciśnienia, a następnie w tych samych punktach dla malejących wartości ciśnienia (w wakuometrach odwrotnie).

### Wynik wzorcowania

z wybranym wzorcem. Przykładowy schemat pomiarowy przy wzorcowaniu azotem z wykorzystaniem ciśnieniomierza obciążnikowo-tłokowego, jako wzorca odniesienia, przedstawia rys. 3 [2].

Pomiar i opracowanie wyników wzorcowania jest wspierane przez odpowiednio przystosowany do tego celu arkusz programu Excel (rys. 4-8).

Nr zlecenia	1.1	Zgłaszający	OKRĘGOWY URZĄD MIAR W SZCZECINIE - LABORATORIUM INTERDYSCYPLINAR	Data pomiaru	30 lutego 2020
Nr pliku	1-1 p	ul.	pl. Lotników 4/5	kod	70-414
				miasto	Szczecin
				Data świadectwa	30 lutego 2020
rodzaj:	Przetwornik ciśnienia				
znak fabr.:	GP-50				
typ:	211-D-SZ-7-CJ/GB				
nr fabr.:	13642				
ozn.:					
zakres pomiarowy:	0	760			
Działka elementarna:					
Rozdzielczość:	0,001				
Jednostka p <sub>e</sub> :	bar				
Zakres sygnału wyj.:	0	10,00			
Jedn. sygn. wyj. p <sub>e</sub> :	V				
Wzorowanie wykonano	olejem				
	Termohigrometr				
	Typ LB-701				
	Nr 2245				
	Odczytana				
	Temperatura				
	Wilgotność				
	Z poprawką				
	Temperatur				
	Wilgotność				
	Multimetr				
	Typ Agilent 34410A				
	Nr MY45002933				
	Błąd graniczny 0,006				
	Rozdzielczość 0,001				
	Zasilacz				
	Typ 303D				
	Nr 2001/166				

Rys. 4. Obszar wprowadzania danych zlecenia i przyrządu oraz warunków otoczenia

Lp	Typ	Nr	Jednostka p <sub>e</sub>	Wzorec										Średnia p <sub>e</sub>
				Seria I		Seria II		Seria III		Seria IV		Seria V		
1	SuperbBarnet	7293	MPa	po1	po2	po3	po4	po5	po6	po7	po8	po9	po10	0
2	SuperbBarnet	7293	MPa	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
3	SuperbBarnet	7293	MPa	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
4	SuperbBarnet	7293	MPa	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
5	SuperbBarnet	7293	MPa	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
6	SuperbBarnet	7293	MPa	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
7	SuperbBarnet	7293	MPa											

Rys. 5. Obszar wprowadzania danych wzorca i punktów pomiarowych

Wartość wskazana											Średnia	Jednostka p <sub>e</sub>
Seria I		Seria II		Seria III		Seria IV		Seria V				
p <sub>e1</sub>	p <sub>e2</sub>	p <sub>e3</sub>	p <sub>e4</sub>	p <sub>e5</sub>	p <sub>e6</sub>	p <sub>e7</sub>	p <sub>e8</sub>	p <sub>e9</sub>	p <sub>e10</sub>			
0,122	0,122	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123	0,1228	bar	
2,078	2,082	2,081	2,084	2,08	2,083	2,081	2,083	2,081	2,084	2,0817	bar	
4,031	4,035	4,034	4,037	4,034	4,037	4,034	4,036	4,034	4,037	4,0349	bar	
5,981	5,983	5,983	5,985	5,983	5,985	5,982	5,985	5,983	5,985	5,9835	bar	
7,927	7,927	7,93	7,931	7,929	7,93	7,93	7,931	7,929	7,93	7,9294	bar	
9,226	9,226	9,226	9,226	9,225	9,225	9,226	9,226	9,225	9,225	9,2256	bar	

Rys. 6. Obszar wprowadzania wskazań odczytanych z multimetru



Lp	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	Ex	U	Jednostka	Lmpp	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	Ex	U	Jednostka	Lmpp
1	0,0	9,3	-9,3	0,5	bar	1	0,000	0,123	-0,123	0,007	V	3
2	150,0	158,2	-8,2	0,5	bar	1	1,974	2,082	-0,108	0,007	V	3
3	300,0	306,7	-6,7	0,6	bar	1	3,947	4,035	-0,088	0,008	V	3
4	450,0	454,7	-4,7	0,6	bar	1	5,921	5,984	-0,063	0,008	V	3
5	600,0	602,6	-2,6	0,6	bar	1	7,895	7,929	-0,034	0,008	V	3
6	700,0	701,1	-1,1	0,7	bar	1	9,211	9,226	-0,015	0,009	V	3

Rys. 7. Opracowane wyniki pomiaru wraz z niepewnością

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1 PROTOKÓŁ WZORCOWANIA PRZETWORNIKÓW										
2 Nr dz. zgł. U/L2/1.1/2020 Data: 30 lutego 2020										
3										
4 bez poprawki z poprawką										
5 Temp [ °C ] : (21,1 - 21,4) / (21,2 - 21,5) Wilgotność [%] : (30 - 31) (30 - 31)										
6 Zgłaszający: OKRĘGOWY URZĄD MIAR W SZCZECINIE - LABORATORIUM										
7 INTERDYSCYPLINARNE Szczecin										
8										
9										
10										
11 Rodzaj: Przetwornik ciśnienia typ: 211-D-SZ-7-CJ/GB Strona: 1										
12 znak fabr.: GP-50 Zakres: (0 - 760) bar										
13										
14 nr fabr.: 13642 Dziśka elementarna: --										
15 ozn.: -- Zakres sygnału wyj.: (0 - 10) V										
16										
17 Wzorce i przyrządy pomiarowe wykorzystane do wzorcowania:										
18										
19 1. Termohigrometr typ LB-701 nr 2245										
20 2. Multimetr typ Agilent 34410A nr MY45002933										
21 3. Zasilacz typ 303D nr 2001/166										
22 4. Ciśnieniomierz obciążnikowo-tłokowy typ SuperBarnet nr 7293										
23										
24										
25 Wzorcowanie wykonano objęciem										
Lp	Wartość odniesienia po	Wskazanie średnie wzorcowanego przyrządu px	Odczytanie standardowe uA(px)	Niepewność słotowa pomiaru	Uwagi / Zapiski					
27	1	0,0000 bar	0,1238 V	0,00042 V	0,2644 V					
28	2	150,0000 bar	2,0817 V	0,00189 V	0,2693 V					
29	3	300,0000 bar	4,0349 V	0,00191 V	0,2732 V					
30	4	450,0000 bar	5,9833 V	0,00143 V	0,2778 V					
31	5	600,0000 bar	7,9294 V	0,00143 V	0,2864 V					
32	6	700,0000 bar	9,2256 V	0,00052 V	0,2915 V					
33	7	---	---	---	---					
34	8	---	---	---	---					
35	9	---	---	---	---					
36	10	---	---	---	---					
37	11	---	---	---	---					
38	12	---	---	---	---					
39	13	---	---	---	---					
40	14	---	---	---	---					
41	15	---	---	---	---					
42	16	---	---	---	---					
43	17	---	---	---	---					
44	18	---	---	---	---					
45	19	---	---	---	---					
46	20	---	---	---	---					
47	21	---	---	---	---					
48	22	---	---	---	---					
49	23	---	---	---	---					
50	24	---	---	---	---					
51	Sprawdził(a):				Pomiar wykonał(a):					
52										
53										
54										
55	Szacowanie niepewności w pliku 1-1 p.xls									
56	IWN-P-01/F-02 Wydanie 1 z dnia 05.08.2019 r.									
57										

Rys. 8. Protokół pomiaru

Niepewność pomiaru jest wyznaczana zgodnie z instrukcją wzorcowania nr IWN-P-01, w oparciu o dokument [4]. Równanie pomiaru zostało skonstruowane w taki sposób, aby można je było stosować zarówno do przetworników ciśnienia, jak i ciśnieniomierzy.

W ramach akredytacji wyniki pomiaru są przedstawiane wraz z niepewnością, zgodnie z deklarowanymi wartościami CMC w zakresach przedstawionych w tab. 1.

### Świadectwo wzorcowania

Dokumentem potwierdzającym wykonanie wzorcowania jest świadectwo wzorcowania (rys. 9). Świadectwo wzorcowania, wydawane przez laboratorium akredytowane, jest dowodem zachowania spójności pomiarowej. Wyposażenie pomiarowe, stosowane w OUM w Szczecinie do wzorcowania przetworników ciśnienia, jest wzorcowane w Głównym Urzędzie Miar lub w innych laboratoriach akredytowanych.

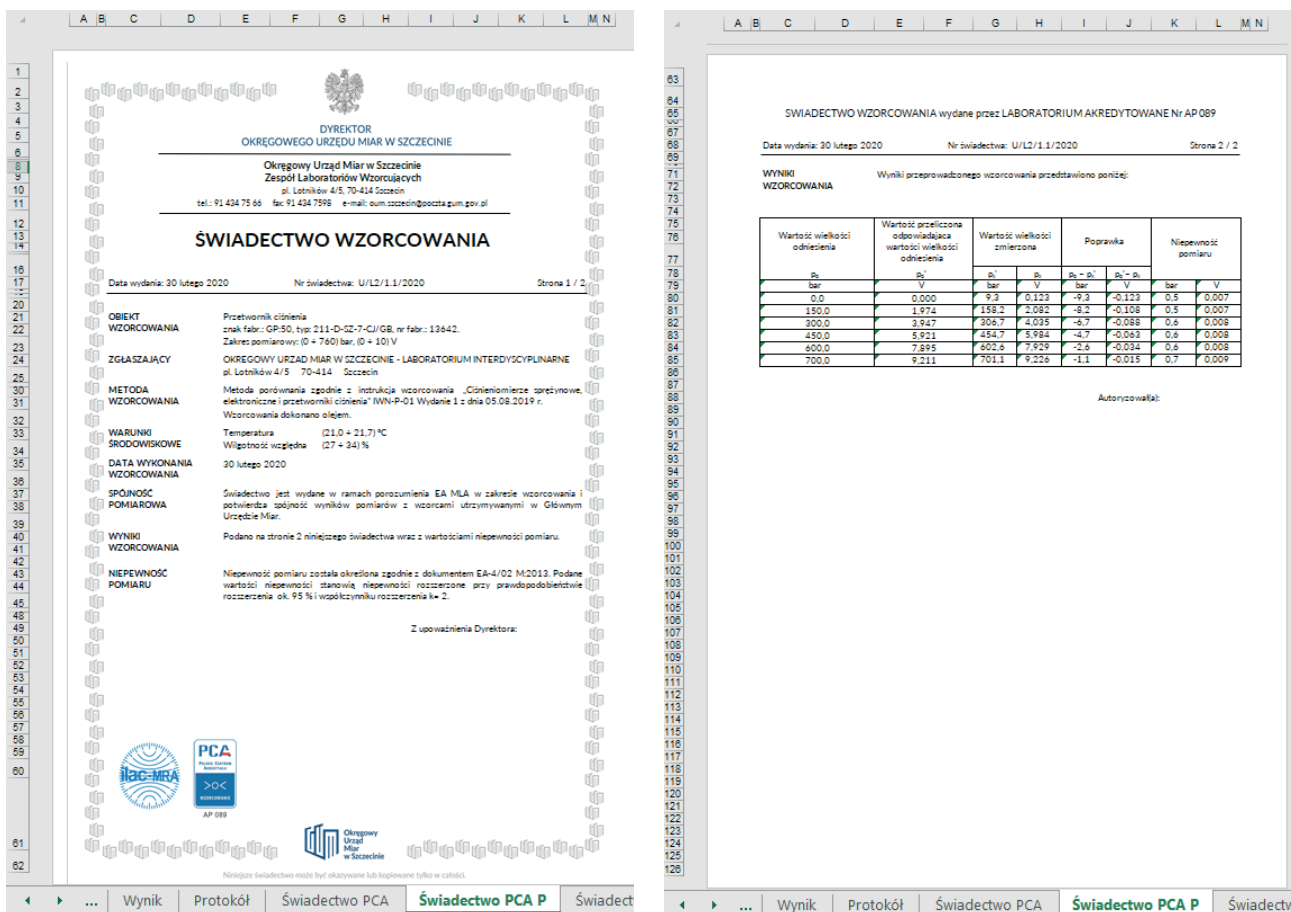
### Podsumowanie

Jako jedyne spośród laboratoriów administracji miar, Laboratorium Interdyscyplinarne Zespołu Laboratoriów Wzorcujących Okręgowego Urzędu Miar w Szczecinie, wykonuje wzorcowania przetworników ciśnienia, w ramach posiadanej akredytacji, jako samodzielnych

Tab. 1. Zakresy pomiarowe i wartości CMC wzorcowań przetworników ciśnienia w akredytowanym laboratorium AP 089

PCA		Zakres akredytacji Nr AP 089		
Objekt wzorcowania/pomiaru	Zakres pomiarowy	Niepewność pomiaru dla CMC	Miejsce dział.	Metoda pomiarowa
<b>ciśnienie</b>				
<b>Przetworniki ciśnienia Wzorcowanie</b>	ciśnienie względne – podciśnienie i nadciśnienie (gaz) (-0,1 + 0,06) MPa (0,06 + 0,15) MPa (0,15 + 0,6) MPa (0,6 + 7) MPa	4·10 <sup>-5</sup> MPa + 0,04 % fs 1·10 <sup>-3</sup> · p + 0,04 % fs 2·10 <sup>-4</sup> MPa + 0,04 % fs 3,5·10 <sup>-4</sup> · p + 0,04 % fs p - wartość mierzonego ciśnienia fs – zakres pomiarowy przetwornika	S	IWN-P-01
<b>Przetworniki ciśnienia Wzorcowanie</b>	ciśnienie względne – nadciśnienie (ciecz) (0,02 + 0,6) MPa (0,6 + 30) MPa (30 + 100) MPa	2,5·10 <sup>-4</sup> MPa + 0,04 % fs 1·10 <sup>-3</sup> · p + 0,04 % fs 5·10 <sup>-4</sup> · p + 0,04 % fs p - wartość mierzonego ciśnienia fs – zakres pomiarowy przetwornika	S	IWN-P-01





Rys. 9. Świadectwo wzorcowania

przyrządów pomiarowych. Przetwornik ciśnienia wyzorcowany w ten sposób może być podłączony do dowolnego układu pomiarowego.

Na przykładzie przetworników ciśnienia widać, w jaki sposób, będąc niewielkim laboratorium, potrafimy łączyć wiedzę i doświadczenie z 7 akredytowanych dziedzin w celu zwiększania możliwości pomiarowych i poszerzania zakresu oferowanych usług.

## Literatura

- [1] Rozporządzenie Rady Ministrów z 30 listopada 2006 roku w sprawie legalnych jednostek miar.
- [2] Guidelines on the Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometers EURAMET Calibration Guide No. 17 Version 4.0 (04/2019).
- [3] Instrukcja wzorcowania „Ciśnieniomierze sprężynowe, elektroniczne i przetworniki ciśnienia” nr IWN-P-01. Wydanie 1 z dnia: 05.08.2019 r.
- [4] EA-4/02 M: 2013 „Wyznaczanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu”.

