

# Wzorcowanie ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych w Okręgowym Urzędzie Miar w Bydgoszczy

## Calibration of plunger pressure gauges at the Regional Office of Measures in Bydgoszcz

Krzysztof Szulc, Grażyna Andreskowska  
Okręgowy Urząd Miar w Bydgoszczy

W artykule przedstawiono zagadnienie wzorcowania ciśnieniomierzy w Laboratorium Długości i Termometrii Okręgowego Urzędu Miar w Bydgoszczy. Omówiono znaczenie pomiarów ciśnienia. Przedstawiono możliwości pomiarowe w zakresie pomiarów ciśnienia ze szczególnym uwzględnieniem wzorcowania ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych.

The article presents the issue related to calibration of pressure gauges in the Laboratory of Length and Thermometry of the Regional Office of Measures in Bydgoszcz. The importance of pressure measurements is discussed. Measurement possibilities in the scope of pressure measurements are presented, with particular emphasis on the calibration of piston pressure gauges.

**Słowa kluczowe:** wzorcowanie, ciśnieniomierz, okręgowy urząd miar  
**Keywords:** calibration, pressure gauge, regional office of measures

### Wstęp

Wysoki poziom technologii stworzył wiele nowych obszarów, w których niezwykle ważne stały się pomiary ciśnienia. Ma to przełożenie na konieczność stosowania coraz większej liczby rodzajów przyrządów do jego pomiarów. W niektórych dziedzinach jest to związane bezpośrednio ze zdrowiem i bezpieczeństwem obywateli. Tak jest między innymi w przypadku ciśnieniomierzy do pomiaru ciśnienia tętniczego krwi oraz manometrów do opon pojazdów mechanicznych.

Ciśnieniem można nazwać stan naprężenia ciał ciekłych i gazowych, wywołanych działaniem czynników zewnętrznych. Ciśnienie definiuje się jako iloraz siły i pola powierzchni. Siła ta działa prostopadle do płaszczyzny. Jednostką ciśnienia w układzie SI jest paskal oznaczany symbolem Pa. Inne dopuszczalne do stosowania jednostki ciśnienia to bar oraz mmHg. Ta ostatnia jednostka stosowana jest w przyrządach do pomiaru ciśnienia tętniczego krwi.

W nauce i technice wyróżnia się ciśnienie bezwzględne oraz względne. Ciśnienie bezwzględne, czyli

absolutne, jest to ciśnienie, dla którego zerem jest próżnia absolutna. Ciśnienie względne zawsze jest odniesione do ciśnienia otoczenia. Dzieli się ono na podciśnienie i nadciśnienie.

Przyrządy do pomiarów ciśnienia charakteryzują się dużą różnorodnością, w zależności od wielkości ciśnień oraz miejsca ich pomiaru. W powszechnym zastosowaniu spotyka się ciśnieniomierze cieczowe, sprężynowe, elektroniczne oraz tłokowe.

Laboratoria zajmujące się wzorcowaniem, czyli określaniem relacji pomiędzy wartościami wielkości mierzonej wskazanymi przez przyrząd pomiarowy a odpowiednimi wartościami wielkości realizowanymi przez wzorce jednostki miary, realizują usługi wzorcowania w zależności od posiadanych możliwości pomiarowych. Na możliwości pomiarowe laboratorium mają wpływ przede wszystkim posiadane wzorce oraz stanowiska pomiarowe, pozwalające na wzorcowanie danego przyrządu z uwzględnieniem jego konstrukcji i klasy dokładności.

## Wzorcowanie ciśnieniomierzy

Pracownia pomiarów ciśnienia w Okręgowym Urzędzie Miar w Bydgoszczy posiada wieloletnią tradycję. Obecnie wchodzi w skład Laboratorium Długości i Termometrii w Wydziale Usług Metrologicznych. Wykonywane są tutaj wzorcowania ciśnieniomierzy sprężynowych, elektronicznych oraz obciążnikowo-tłokowych. Pracownia przygotowana i nastawiona jest głównie na wzorcowanie przyrządów wyższych klas, stosowanych jako wzorce dla ciśnieniomierzy użytkowych. Posiadane stanowiska pomiarowe pozwalają na realizację wzorcowania ciśnieniomierzy w zakresie od 1 MPa do 250 MPa oraz ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych w zakresie od 0,6 MPa do 60 MPa.

Bezpośrednio do czynności wzorcowania stosowane są wzorcowe ciśnieniomierze obciążnikowo-tłokowe. Najdokładniejsze wzorce reprezentują klasę dokładności 0,01. W procesie konstrukcyjnym tych przyrządów cały wysiłek skierowany jest na wytworzenie wysokiej jakości tłoka i cylindra, jako głównych elementów układu pomiarowego. Pozwala to na wyeliminowanie szeregu czynników, mogących wpłynąć na błędy pomiarowe.

Na rys. 1 przedstawione jest stanowisko do wzorcowania ciśnieniomierzy w zakresie od 1 000 mbar do 2 000 mbar. Ciśnieniomierz reprezentuje klasę dokładności 0,01.

Aby zapewnić kompleksową obsługę klientów, Okręgowy Urząd Miar w Bydgoszczy posiada na wyposażeniu również stanowisko do wzorcowania ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych. Należy w tym miejscu wspomnieć, że jest to jedyne w administracji miar

stanowisko, na którym realizowane są usługi objęte akredytacją PCA (Polskie Centrum Akredytacji). Wzorcowanie ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych jest zadaniem bardzo odpowiedzialnym, ponieważ nawet najmniejsze błędy, spowodowane niewłaściwą realizacją procesu wzorcowania, będą przeniesione w łańcuchu pomiarowym na kolejne przyrządy do pomiaru ciśnienia, nierzadko również stosowane jako wzorce ciśnienia. Dodatkowo, najczęściej przyjmowany przez laboratoria okres między kolejnymi wzorcowaniami wynosi aż 60 miesięcy, co w przypadku ewentualnych błędów jednoznacznie wskazuje, jak długo mogą być odczuwalne ich skutki.

Ciśnieniomierze obciążnikowo-tłokowe, pomimo pozornie prostej, analogowej konstrukcji, zapewniają wysoki poziom i powtarzalność uzyskiwanych pomiarów oraz wieloletnią niezawodność, eliminując jednocześnie składowe budżetu niepewności, występujące w nowoczesnych elektronicznych konstrukcjach ciśnieniomierzy, opartych na czujnikach tensometrycznych. Z tego właśnie względu ciśnieniomierze obciążnikowo-tłokowe stanowią wyposażenie stanowisk pomiarowych w Głównym Urzędzie Miar oraz w zdecydowanej większości okręgowych urzędów miar.

W pracowni ciśnienia w Laboratorium Długości i Termometrii w OUM w Bydgoszczy wzorcowane są ciśnieniomierze klasy dokładności 0,05. Stanowisko to zostało w ostatnich latach odnowione i zmodernizowane. W ramach modernizacji zamontowano platformę, na której możliwa jest instalacja całego ciśnieniomierza, bez konieczności demontażu układu pomiarowego. Demontowanie układu nie zawsze było możliwe ze względu na fakt, że użytkownicy często trwale



■ Rys. 1. Stanowisko do wzorcowania ciśnieniomierzy w zakresie od 1 000 mbar do 2 000 mbar

uszczelniali gniazdo układu pomiarowego. Nowe rozwiązanie stworzyło lepsze warunki do sprawdzenia szczelności całego ciśnieniomierza.

Konstrukcja platformy umożliwia również regulację jej wysokości. Pozwala to na umieszczenie czoła tłoka wzorcowanego na wysokości czoła tłoka wzorcowanego. Zabieg ten eliminuje konieczność uwzględnienia w obliczeniach dodatkowej poprawki związanej z różnicą wysokości czoła tłoka ciśnieniomierza wzorcowanego. Obecny wygląd stanowiska przeznaczonego do wzorcowania ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych przedstawiony jest na rys. 2.

Podstawowe zadanie przy wzorcowaniu ciśnieniomierza obciążnikowo-tłokowego to wyznaczenie przekroju czynnego tłoka. Do ustalenia klasy ciśnieniomierza i wyznaczenia niepewności rozszerzonej konieczne jest badanie wielu parametrów, takich jak:

- czas trwania swobodnego ruchu obrotowego,
- prędkość opadania tłoka wraz z obciążnikami,
- sprawdzenie odchyłki prostokątności powierzchni oporowej obciążnika podstawowego względem osi tłoka,
- sprawdzenie progu pobudliwości.

W procesie wzorcowania bardzo duże znaczenie ma precyzyjne określenie masy obciążników stosowanych do wzorcowania, jak i masy obciążników ciśnieniomierza wzorcowanego. Przy wyznaczaniu masy tych ostatnich potrzebne są wielokrotne pomiary w celu dokonania korekcy. Jest to wymaganie związane z zachowaniem odpowiedniej klasy przyrządu. Atutem Laboratorium Długości i Termometrii jest możliwość korzystania w tym celu z usług akredytowanego Laboratorium Masy,

wchodzącego w skład Wydziału Usług Metrologicznych OUM w Bydgoszczy, co stanowi gwarancję wysokiej jakości wykonanych pomiarów.

Do wzorcowania stosuje się wzorce o zakresach dostosowanych do zakresów ciśnieniomierzy wzorcowanych, np. do wzorcowania ciśnieniomierza o zakresie pomiarowym od 1 MPa do 25 MPa stosuje się wzorzec o tym samym zakresie. Wzorce dobierane są pod względem klasy dokładności. Oznacza to, że ciśnieniomierz wzorcowy powinien być znacznie dokładniejszy, czyli np. do wzorcowania ciśnieniomierza klasy 0,05 stosuje się wzorzec klasy 0,02. Wszystkie wzorcowe zespoły pomiarowe stanowisk pomiarowych OUM w Bydgoszczy wzorcowane są w Głównym Urzędzie Miar.

Ważnym zagadnieniem związanym ze wzorcowaniem jest oszacowanie niepewności pomiaru. Budżet niepewności pomiaru ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych składa się z dwóch części. Pierwsza z nich dotyczy wyznaczenia przekroju czynnego tłoka, a druga pomiarów ciśnienia. Przy tworzeniu budżetu niepewności uwzględnia się wiele czynników, takich jak:

- masy stosowane przy równoważeniach,
- rodzaj materiału, z którego wykonane są tłoki,
- temperatura otoczenia,
- przyspieszenie ziemskie właściwe dla miejsca użytkowania.

Pomimo doboru identycznych zakresów przekroje tłoków wzorca i ciśnieniomierza wzorcowanego nie są takie same. To zagadnienie jest również uwzględniane przy opracowaniu budżetu niepewności.



Rys. 2. Stanowisko do wzorcowania ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych

## Porównania międzylaboratoryjne

Sprawdzaniem kompetencji Laboratorium Długości i Termometrii w zakresie wzorcowania ciśnieniomierzy były przeprowadzone dwustronne porównania międzylaboratoryjne, w których laboratorium odniesienia była Pracownia Ciśnienia Samodzielnego Laboratorium Masy Głównego Urzędu Miar. Uzyskana najwyższa wartość wskaźnika  $E_n$ , stosowanego przy ocenie wyników porównań, wyniosła 0,15 (w najgorszym punkcie pomiarowym). Jest to rezultat na bardzo dobrym poziomie, świadczący o tym, że wyniki uzyskane przez Laboratorium Długości i Termometrii są wiarygodne.

Porównania międzylaboratoryjne były wstępnym testem na drodze do uzyskania rozszerzenia akredytacji o wzorcowanie ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych. Po pozytywnym wyniku audytu, przeprowadzonego przez Polskie Centrum Akredytacji, uzyskano akredytację na wzorcowanie ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych w roku 2018.

Niepewność pomiaru CMC to najmniejsza niepewność pomiaru jaką laboratorium wzorcujące jest w stanie osiągnąć w trakcie rutynowo przeprowadzanego wzorcowania. Akredytowane laboratoria wzorcujące są zobligowane do szacowania niepewności pomiaru dla wszystkich wzorcowań i pomiarów objętych zakresem akredytacji. Podane w świadectwach wzorcowania wartości niepewności pomiaru nie mogą być niższe od ustalonych w zakresie akredytacji wartości CMC. Dokumentem potwierdzającym wykonanie wzorcowania jest wydawane, przez laboratorium akredytowane, świadectwo wzorcowania (rys. 3), które potwierdza spójność pomiarową.

Posiadanie akredytacji na wzorcowanie ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych, oprócz możliwości realizacji wzorcowań dla klientów komercyjnych, pozwala również na wzorcowanie przyrządów pozostałych okręgowych urzędów miar oraz przyrządów własnych. Możliwość ta znacząco skraca okres wyłączenia stanowiska pomiarowego, co usprawnia realizację zleceń klientów.

## Podsumowanie

Pracownia pomiarów ciśnienia, dzięki systematycznemu rozwojowi dziedziny oraz wieloletniemu doświadczeniu personelu, posiada duże możliwości obsługi zleceń od klientów z całego kraju. Z usług pracowni korzysta bardzo szeroki krąg odbiorców, od producentów i serwisantów stanowisk pomiarowych, poprzez laboratoria wojskowe i laboratoria działające przy zakładach przemysłowych. Zdobyte doświadczenie pozwala na wzorcowanie przyrządów o wysokiej dokładności i w szerokim zakresie pomiarowym.



Rys. 3. Przykładowe świadectwo wzorcowania

Planowane i realizowane działania rozwojowe pozwalają na systematyczne rozszerzanie możliwości laboratorium w zakresie realizowania usług w dziedzinie ciśnienia (tab. 1).

Okręgowy Urząd Miar w Bydgoszczy, jako jedyny urząd w administracji miar, posiada akredytację na wzorcowanie ciśnieniomierzy obciążnikowo-tłokowych, co ugruntowało jego znaczącą pozycję w tej dziedzinie pomiarowej.

W ramach kompleksowej obsługi klienta OUM w Bydgoszczy realizuje również usługi wzorcowania ciśnieniomierzy do pomiarów ciśnienia tętniczego krwi oraz przeprowadza legalizację i wzorcowania manometrów do pomiarów ciśnienia w oponach pojazdów mechanicznych.

Dobre podstawy dla uzyskania wysokiego poziomu wzorcowań przeprowadzanych w laboratorium pomiarów ciśnienia naszego urzędu tworzone dzięki wieloletnim doświadczeniom i merytorycznemu wsparciu ze strony Głównego Urzędu Miar. Odbywało się to poprzez szkolenia personelu, konsultacje techniczne oraz ścisłą współpracę w zakresie metodyki postępowania w tej dziedzinie pomiarów.

Tab. 1. Zakresy pomiarowe oraz zdolności pomiarowe CMC dla ciśnieniomierzy wzorcowanych w OUM w Bydgoszczy

Przyrządy wzorcowane	Zakres pomiarowy	CMC
ciśnieniomierze sprężynowe i elektroniczne (ciśnienie względne – gaz)	(-0,05 ÷ -0,001) MPa	$1 \times 10^{-5}$ MPa
	(-0,1 ÷ -0,05) MPa	$3 \times 10^{-5}$ MPa
	(0,001 ÷ 0,01) MPa	$2 \times 10^{-6}$ MPa
	(0,01 ÷ 0,02) MPa	$1,1 \times 10^{-5}$ MPa
	(0,02 ÷ 0,05) MPa	$2 \times 10^{-5}$ MPa
	(0,05 ÷ 0,1) MPa	$3 \times 10^{-5}$ MPa
	(0,1 ÷ 0,15) MPa	$2 \times 10^{-4}$ MPa
	(0,15 ÷ 1) MPa	$3 \times 10^{-4}$ MPa
ciśnieniomierze sprężynowe i elektroniczne (ciśnienie względne – ciecz)	(0,02 ÷ 0,4) MPa	$2 \times 10^{-4}$ MPa
	(0,4 ÷ 0,6) MPa	$3 \times 10^{-4}$ MPa
	(0,6 ÷ 1) MPa	$4 \times 10^{-4}$ MPa
	(1 ÷ 1,6) MPa	$1 \times 10^{-3}$ MPa
	(1,6 ÷ 4) MPa	$2 \times 10^{-3}$ MPa
	(4 ÷ 6) MPa	$4 \times 10^{-3}$ MPa
	(6 ÷ 10) MPa	$5 \times 10^{-3}$ MPa
	(10 ÷ 16) MPa	$2 \times 10^{-2}$ MPa
	(16 ÷ 25) MPa	$2 \times 10^{-2}$ MPa
	(26 ÷ 60) MPa	$3 \times 10^{-2}$ MPa
	(60 ÷ 100) MPa	$6 \times 10^{-2}$ MPa
	(100 ÷ 200) MPa	$2 \times 10^{-1}$ MPa
(210 ÷ 250) MPa	1 MPa	
ciśnieniomierze obciążnikowo-tłokowe (ciśnienie względne – ciecz)	(0,02 ÷ 60) MPa	$3,5 \times 10^{-4} p$ <i>p</i> – ciśnienie mierzone

## Bibliografia

- [1] Polska Norma PN-89/M-42336 Manometry obciążnikowo-tłokowe.
- [2] IW/LW1/11 Instrukcja wzorcowania. Ciśnieniomierze obciążnikowo-tłokowe OUM Bydgoszcz wyd. 2, 29.05.2020.
- [3] IN/LW1/11 Instrukcja szacowania niepewności pomiaru. Ciśnieniomierze obciążnikowo-tłokowe. OUM Bydgoszcz, wyd. 2, 29.05.2020.



### **Krzysztof Szulc**

Absolwent Technikum Ekonomicznego w Wągrowcu. W administracji miar od 1997 r. Obecnie zajmuje stanowisko Starszego Inspektora i Zastępcy Kierownika w Laboratorium Długości i Termometrii w Wydziale Usług Metrologicznych Okręgowego Urzędu Miar w Bydgoszczy. Specjalizuje się w dziedzinie ciśnienia i termometrii. W czasie swojej pracy zawodowej brał udział w licznych szkoleniach i seminariach metrologicznych organizowanych głównie przez Główny Urząd Miar w Warszawie.



### **Grażyna Andreskowska**

Absolwentka Wydziału Mechanicznego Akademii Techniczno-Rolniczej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy (obecnie Uniwersytet Techniczno-Przyrodniczy). W Administracji Miar od 2012 r. Obecnie zajmuje stanowisko Kierownika Laboratorium Długości i Termometrii w Wydziale Usług Metrologicznych Okręgowego Urzędu Miar w Bydgoszczy. Nadzoruje realizację prac metrologicznych oraz rozwój laboratorium w dziedzinach: termometria, wilgotność względna, ciśnienie, długość, kąt i geometria powierzchni. Brała udział w licznych szkoleniach i seminariach metrologicznych.