

**Mateusz TURKOWSKI**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA, WYDZIAŁ MECHATRONIKI, INSTYTUT METROLOGII I SYSTEMÓW POMIAROWYCH

## Spójność pomiarowa jako warunek niezbędny dla utrzymania systemów jakości

dr inż. **Mateusz TURKOWSKI**

Adiunkt w Instytucie Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Warszawskiej. Ukończył Wydział Mechatyki Precyzyjnej Politechniki Warszawskiej (obecnie Mechatroniki), tam też się doktoryzował w 1979 r. Interesuje się metrologią przemysłową, sensorami i przetwornikami pomiarowymi, a w szczególności metrologią przepływów. Zorganizował w Instytucie Laboratorium Przepływów. Opublikował 2 skrypty, 1 monografię, 28 artykułów w czasopismach naukowych i 27 referatów na konferencjach krajowych i międzynarodowych. Uzyskał 7 patentów. Inżynier górniczy II stopnia. Przewodniczy Komitetowi Technicznemu PKN nr 51 - Przemysłowe pomiary wielkości nieelektrycznych.



e-mail: m.turkowski@mchtr.pw.edu.pl

### Streszczenie

Przedstawiono wymagania dla aparatury pomiarowej organizacji pragnącej wdrożyć i utrzymywać system jakości. Podkreślono konieczność okresowego wzorcowania lub sprawdzania aparatury przy zachowaniu spójności pomiarowej, tj. odniesienia do państwowych lub międzynarodowych wzorców miary. Omówiono układy sprawdzań zapewniające spójność pomiarową na przykładzie Laboratorium Przepływów Instytutu Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Warszawskiej.

### Abstract

The requirements for measuring instruments used by the organization willing to introduce and maintain the quality system have been presented. The necessity of the periodical calibration or checking of the measuring instruments assuring traceability to national or international standards has been underlined. The traceability chains assuring the necessary requirements have been discussed, the Flow Laboratory of the Institute of Metrology and Measurement Systems was used as an example.

### 1. Wstęp

Dla wdrożenia i utrzymywania systemów jakości niezbędne jest spełnienie wymagań normy PN-EN ISO 9001:2000 [1]. Z punktu widzenia eksploatacji aparatury pomiarowej szczególnie istotny jest punkt 7.6 – Nadzorowanie wyposażenia do monitorowania i pomiarów.

Mówi on m.in., że organizacja, która zamierza utrzymywać system jakości powinna określić monitorowanie i pomiary, które należy wykonywać dla utrzymywania właściwej jakości wyrobu, oraz wyposażenie do monitorowania i pomiarów potrzebne do dostarczenia dowodu zgodności wyrobu z określonymi wymaganiami.

Tam, gdzie jest niezbędne zapewnienie wiarygodnych wyników pomiarów, wyposażenie pomiarowe należy wzorcować lub sprawdzać w określonych odstępach czasu lub przed jego użyciem. Norma wymaga, aby podczas sprawdzania lub wzorcowania zapewnić odniesienie do wzorców jednostek miary mających powiązanie z międzynarodowymi lub państwowymi wzorcami jednostek miary.

Właściwość wyniku pomiaru lub wzorca jednostki miary polegającą na tym, że można je powiązać z określonymi odniesieniami, na ogół z wzorcami państwowymi lub międzynarodowymi wzorcami jednostki miary, za pośrednictwem nieprzerwanego łańcucha porównań (zwanego też łańcuchem powiązań), z których wszystkie mają określone niepewności, nazywamy zgodnie ze słownikiem [2], spójnością pomiarową.

W razie potrzeby należy przyrząd adiustować, a także zidentyfikować (oznaczyć wyraźnie na przyrządzie) status wzorcowania i zabezpieczyć przed ponownymi, nieuprawnionymi adiustacjami, które mogłyby unieważnić wynik pomiaru.

Jak można zrealizować powiązanie wyniku pomiaru danym, użytkowym przyrządem pomiarowym pokazuje tzw. układ spraw-

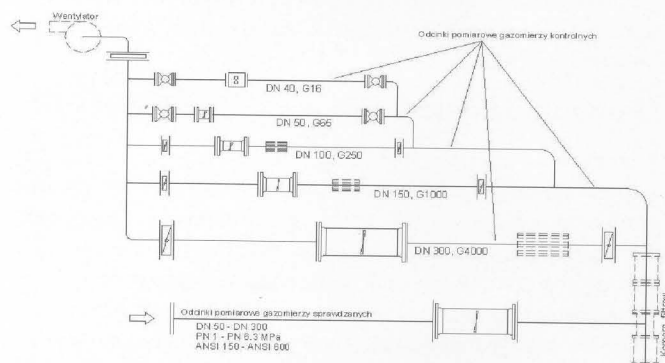
dzań (formalnie hierarchiczny układ sprawdzań). Opracowywanie układów sprawdzań leży w gestii Głównego Urzędu Miar. Zagadnienia te, uzupełnione licznymi przykładami omówiono w [3].

Politykę Polskiego Centrum Akredytacji w zakresie spójności pomiarowej przedstawiono w [4].

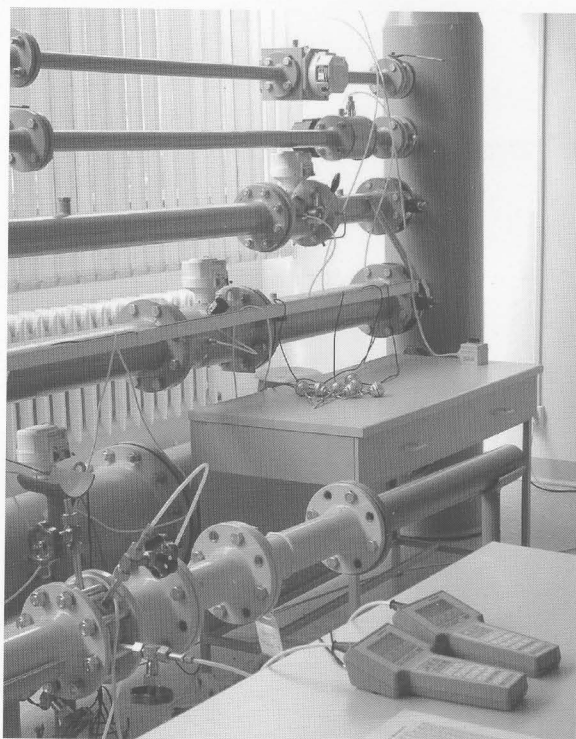
Chcąc jednak przybliżyć zagadnienia spójności pomiarowej użytkownikom aparatury pomiarowej nie będącym specjalistami w zakresie systemów jakości autor przedstawił poniżej to zagadnienie na przykładzie stanowisk w Laboratorium Przepływów Instytutu Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Warszawskiej.

### 2. Niskociśnieniowe stanowisko powietrzne

Stanowisko to, przedstawione schematycznie na rys. 1, jest przeznaczone do badań i sprawdzania przepływomierzy do gazów i gazomierzy przemysłowych powietrzem przy ciśnieniu bliskim atmosferycznemu. Zakres realizowanych strumieni objętości od 0.5 do 5500 m<sup>3</sup>/h. Niepewność rozszerzona  $U_{95}$  stanowiska nie przekracza 0.25 %. Jako wzorce zastosowano 5 gazomierzy kontrolnych (rotorowy DN 40 i turbinowe DN 50, 100, 150 i 300), pokrywających najczęściej spotykane w przemyśle przepływy. Widok stanowiska przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Schemat niskociśnieniowego stanowiska powietrznego



Rys. 2. Widok niskociśnieniowego stanowiska powietrznego

Badania w sensie najogólniejszym przeprowadza się poprzez przepuszczenie przez zamontowane szeregowo urządzenia (gazomierz kontrolny i gazomierz lub przepływomierz badany) określonej dawki powietrza i porównanie ze sobą wskazań tych przyrządów.

Wskutek istnienia wynikającej ze strat ciśnienia różnicy ciśnień między miejscem zamontowania gazomierza sprawdzanego a kontrolnego strumień objętości (a więc i zmierzona objętość) w obu tych miejscach będzie się nieco różnił. Będzie on mianowicie większy w strefie gazomierza kontrolnego, gdyż ten umieszczony jest za gazomierzem sprawdzanym i panuje tam niższe ciśnienie. Dla uwzględnienia tego zjawiska w stanowisku mierzone jest ciśnienie absolutne na gazomierzu sprawdzanym  $p_s$  oraz spadek ciśnienia między gazomierzem sprawdzanym a kontrolnym  $\Delta p_k$ .

Różnica strumienia objętości może wynikać także z różnicy temperatur powietrza w strefie gazomierza kontrolnego  $T_k$  i badanego  $T_s$ .

W oparciu o pomiar objętości przez gazomierz kontrolny  $V_k$  wyznacza się dwie wielkości odwzorowywane przez stanowisko, mianowicie objętość  $V_s$ , która przepłynęła przez gazomierz sprawdzany

$$V_s = V_k \frac{T_s(p_s - \Delta p_k)}{T_k \cdot p_s} \quad (1)$$

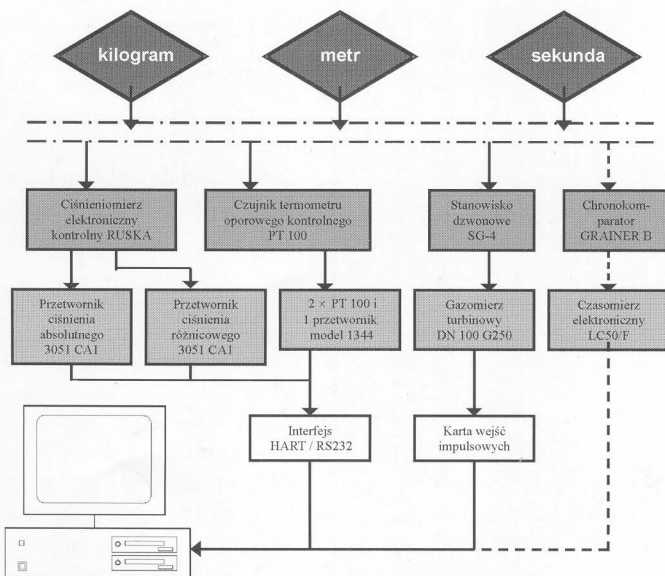
oraz, po jednoczesnym pomiarze czasu eksperymentu  $t$  strumień objętości  $q_s$  w przepływomierzu sprawdzanym

$$q_s = V_s/t \quad (2)$$

W przypadku pomiaru objętości niezbędne jest więc zapewnienie spójności pomiarowej aż dla 4 przyrządów pomiarowych: gazomierza kontrolnego, przetwornika ciśnienia absolutnego, przetwornika różnicy ciśnień i przetwornika temperatury współpracującego z dwoma czujnikami termometrów oporowych Pt 100. Dla pomiaru strumienia objętości niezbędny jest dodatkowo pomiar czasu.

Schemat zapewnienia spójności pomiarowej dla jednego z pięciu ciągów pomiarowych stanowiska (wyposażonego w gazomierz DN 100) przedstawiono na rys. 3. Kolorem niebieskim zaznaczono przyrządy będące na wyposażeniu stanowiska (mają one świadectwa uwierzytelnienia sporządzone przez GUM lub OUM), natomiast zielonym – przyrządy kontrolne, za pomocą których realizuje się odniesienie do państwowego wzorca jednostki miary.

Dalszy łańcuch porównań w zasadzie użytkownika stanowiska nie dotyczy, nie podano go więc na rysunku. Można np. dodać, że



Rys. 3. Schemat zapewnienia spójności pomiarowej dla stanowiska niskociśnieniowego

stanowisko dzwonowe zostało wywzorcowane za pomocą kolby pomiarowej, ta z kolei została wywzorcowana metodą wagową, co sprowadza się do pomiaru masy i gęstości wody, którą wypełnia się kolbę podczas wzorcowania. Gęstość z kolei określa się poprzez pomiar parametrów geometrycznych i masy. W efekcie, jeżeli łańcuch porównań jest rzeczywiście nieprzerwany, to prędzej czy później kończy się on na wzorcach państwowych lub międzynarodowych jednostek podstawowych układu SI.

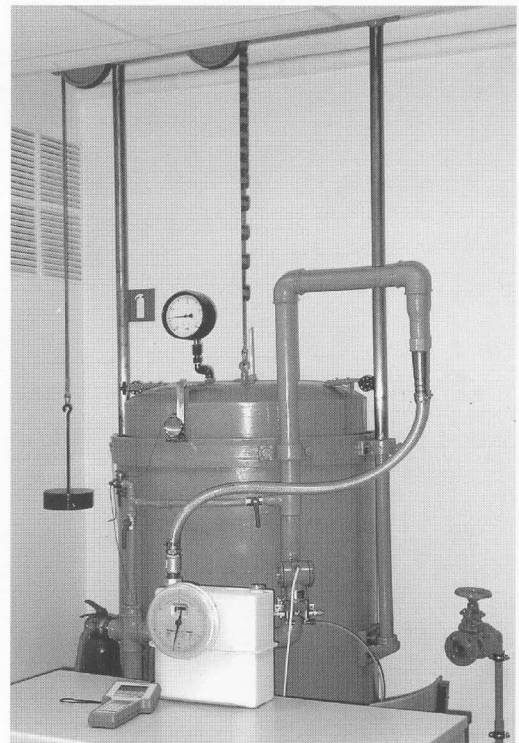
W podobny sposób zapewniono spójność pomiarów pozostałym stanowiskom, będącym na wyposażeniu laboratorium. Podstawowe parametry tych stanowisk podano poniżej.

### 3. Wysokociśnieniowe stanowisko powietrzne

Jest to unikalne w skali kraju stanowisko, stosowane do badań i sprawdzania przepływomierzy do gazów i gazomierzy przemysłowych powietrzem o ciśnieniu do 40 bar, co umożliwia badania wpływu ciśnienia i gęstości gazu na ich wskazania. Zakres używanego strumienia objętości sprowadzony do warunków normalnych wynosi od 0.5 do 2000 m<sup>3</sup>/h. Niepewność rozszerzona  $U_{95}$  stanowiska wynosi od 0.3 do 0.4 % zależnie od zastosowanego wzorca (dysze krytyczne, gazomierz rotorowy, gazomierz turbinowy).

### 4. Stanowisko dzwonowe do małych przepływów gazu

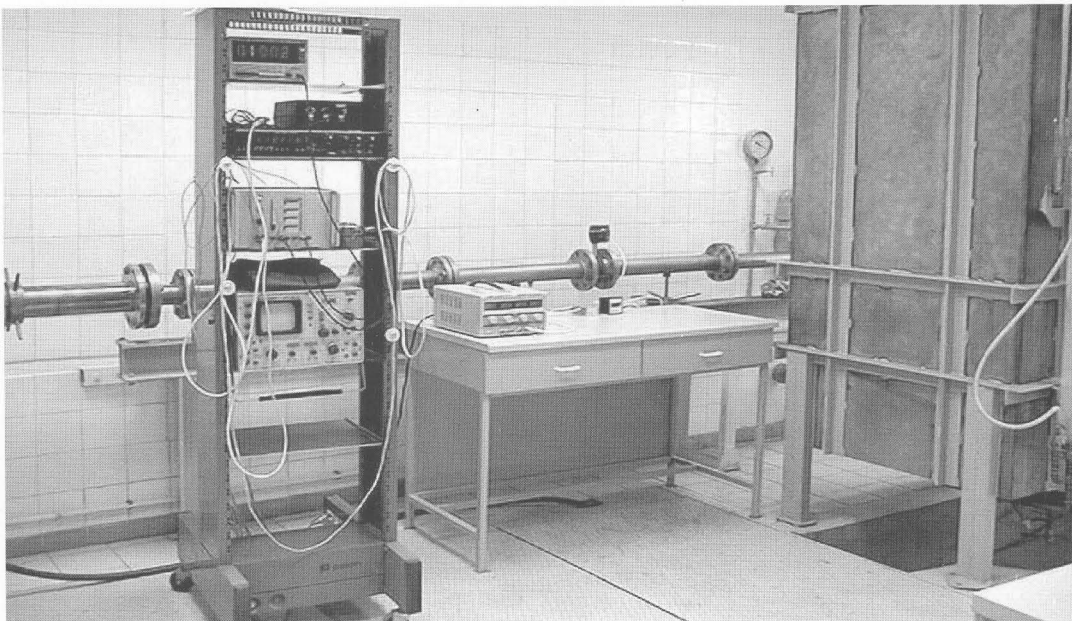
Stanowisko to (rys. 4) przeznaczone jest do badań i sprawdzania przy niewielkich wartościach strumienia objętości przepływomierzy do gazu i gazomierzy (miechowych, rotorowych) powietrzem o ciśnieniu bliskim atmosferycznemu. Zakres realizowanego strumienia objętości od 0.04 do 65 m<sup>3</sup>/h. Niepewność rozszerzona  $U_{95}$  stanowiska nie przekracza 0.20 %. Na stanowisku tym wykonywane są między innymi ekspertyzy gazomierzy podejrzanych o nieuprawnione manipulacje.



Rys. 4. Stanowisko dzwonowe do małych przepływów gazu

### 5. Stanowisko wodne

Stanowisko to, przedstawione na rys. 5 przeznaczone jest do badań i sprawdzania przepływomierzy do cieczy, wodomierzy czujników przepływu dla ciepłomierzy itp. Zakres realizowanych strumieni objętości od 0.1 do 65 m<sup>3</sup>/h. Niepewność rozsze-



Rys. 5. Widok części pomiarowej stanowiska wodnego

rzona  $U_{95}$  stanowiska nie przekracza 0.05 %. Zasilanie grawitacyjne (ze zbiornika umieszczonego w górnej części budynku) niezależnie od pulsacji wywoływanych przez pompy i zapewnia idealne warunki na dopływie do ciągu pomiarowego. Szybki, elektromagnetyczny układ przerzutu strumienia pozwala na doskonałą synchronizację pomiaru objętości z pomiarem czasu, a więc na dokładne wyznaczenie średniego strumienia objętości. Zastosowano wzorce objętościowe w postaci zbiorników pomiarowych o objętościach 0.25 m<sup>3</sup> i 1 m<sup>3</sup>. Stanowisko posiada zatwierdzenie typu i uwierzytliwienie przez GUM. Może służyć do legalizacji liczników wody.

## 6. Podsumowanie

Pomiary przepływów mają szczególnie szerokie zastosowanie w przemyśle przetwórczym, charakteryzującym się ciągłymi procesami przetwarzania różnego rodzaju surowców, m. in. ciekłych i gazowych. Tym niemniej także w przemyśle wytwórczym, występują materiały pomocnicze i nośniki energii w tej postaci (gazy

techniczne, sprężone powietrze, para, woda itp.). Prowadzenie racjonalnej gospodarki tymi materiałami wymaga więc także zapewnienia nadzoru nad przepływomierzami do tych mediów.

Wzorcowanie i sprawdzanie przepływomierzy na stanowiskach będących na wyposażeniu laboratorium przepływów Instytutu Metrologii i Systemów Pomiarowych, dzięki zapewnieniu spójności pomiarowej dla tych stanowisk umożliwia spełnienie wymagań normy PN-EN ISO 9001:2000.

Laboratorium dysponuje szerokimi możliwościami w zakresie badań przepływomierzy dla cieczy i gazów. Stanowiska mają

zapewniają i udokumentowaną (rys. 6) spójność pomiarową, tzn. ich wzorce są powiązane z wzorcami państwowych jednostek miary.

## 7. Literatura

- [1] PN-EN ISO 9000:2001
- [2] Międzynarodowy słownik podstawowych i ogólnych terminów metrologii, Główny Urząd Miar, 1996
- [3] Piotrowski J., Kostywo K.: Wzorcowanie aparatury pomiarowej. PWN, Warszawa, 2000
- [4] Polityka Polskiego Centrum Akredytacji dotycząca zapewnienia spójności pomiarowej. PCA, dokument nr DA-06, Warszawa, 2003

**Title:** Traceability as a necessary condition of quality systems maintenance.

Artykuł recenzowany

| PREZES<br>GŁÓWNEGO URZĘDU MIAR                                  |   |
|---|---|
| 00-050 Warszawa, ul. Działkowa 2, tel. 620-34-37, fax 624-38-34 |   |
| <b>ŚWIADCTWO UWIERZYLNIENIA</b>                                 |   |
| <b>PRZEDMIOT UWIERZYLNIENIA</b>                                 | Kontrola zbiorów liczników<br>Znak fabryczny nie nadany<br>Nr fabryczny: 0000000000000000<br>Rok montażu: 1902<br>Znak typu: nie nadany<br>Wzrost: 1,80 m<br>Zgłoszenie w trybie art. 15 ustawy: Praso e owarach  |
| <b>WYMAGANIA</b>  | Przebieg sterowania w trybie art. 15 ustawy Praso e owarach, zgodność z rozporządzeniem nr 2 Prezesa GUM z dnia 5 stycznia 1996 r. (Dz. Urz. Miar i Pomiarów Nr 3, poz. 11, z 1996 r., Nr 8, poz. 68, z 2000 r.) For 4, poz. 19, Dz. Urz. Głównego Urzędu Miar z 2001 r. Nr 1, poz. 11. |
| <b>METODA SPRAWDZANIA</b>                                       | Objętościowa, porównawcza na przepływnościach gazu porównawczych i aplikacjach kontrolnych zbiorów liczników.   |
| <b>WYNIKI SPRAWDZANIA</b>                                       | W wyniku sprawdzenia stwierdzono, że liczniki zbiorów liczników spełniają wymagania metrologiczne określone w wyżej wymienionych przepisach metrologicznych.  |
| <b>MIEJSCE UMIESZCZENIA CECHY</b>                               | Na obrotowej części liczników 8 cech (zabiegających).   |
| <b>OKRES WAŻNOŚCI ŚWIADCTWA</b>                                 | Świadectwo uwierzytliwienia jest ważne do dnia 30 września 2007 r. lub w przypadku uszkodzenia liczników zbiorów liczników, w zależności od sposobu wykonania, w sposób nie przekraczający 0,5%.  |
| <b>LICZBA STRON ŚWIADCTWA</b>                                   | Świadectwo składa się z 2 stron.  |

| DYREKTOR<br>OKRĘGOWEGO URZĘDU MIAR<br>w Warszawie   |   |
|---|---|
| 00-139 Warszawa, ul. Elektornia 4/6, tel. 620-02-41 w.400, fax 624-32-06                            |   |
| <b>ŚWIADCTWO UWIERZYLNIENIA<br/>KONTROLNEGO PRZYZRĄDU POMIAROWEGO</b>                               |   |
| Zgłoszenie w trybie art. 15 ustawy Praso e owarach  |   |
| <b>PRZEDMIOT UWIERZYLNIENIA</b>   | Stanowisko pomiarowe przeznaczony do sprawdzania liczników do wody o znaku fabrycznym SWCM, produkcji Instytutu Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Warszawskiej, ul. Chłodkiewicza 8, 00-024 Warszawa.  |
| <b>ZŁASZĄCY</b>   | Instytut Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Warszawskiej, ul. Chłodkiewicza 8, 00-024 Warszawa.   |
| <b>MIEJSCE UMIESZCZENIA CECHY</b>   | Instytut Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Warszawskiej, ul. Chłodkiewicza 8, 00-024 Warszawa.   |
| <b>WYMAGANIA</b>  | Stanowisko spełnia wymagania określone w §1 i §2 instrukcji sprawdzania liczników do wody (wzrost) stanowiącej załącznik do zarządzenia nr 1 Prezesa GUM z dnia 5 stycznia 1996 r. (Dz. Urz. Miar i Pomiarów Nr 3, poz. 10 z 1996 r., Nr 6, poz. 53).   |
| <b>METODA SPRAWDZANIA</b>   | Objętościowa, porównawcza, przy pomocy liczników II rzędu.  |
| <b>WYNIKI SPRAWDZANIA</b>   | W wyniku sprawdzenia stwierdzono, że stanowisko pomiarowe SWCM spełnia wymagania określone w wyżej wymienionych przepisach metrologicznych.   |
| <b>WZROCE KONTROLNE</b>   | Zbiórki pomiarowe, odniesione zostały do pojemności 100 l, natomiast wzroce - do temperatury 20°C.  |
| <b>CECHY URZĘDU NADANE</b>  | 1. 4 zbiórki pomiarowe podłożone ze zbiorów liczników (modułowa)<br>2. 2 zbiórki zabezpieczone naciskiem kłopotliwym<br>3. 4 zbiórki zabezpieczone naciskiem kłopotliwym przed odjęciem<br>4. 4 zbiórki zabezpieczone naciskiem kłopotliwym przed odjęciem naciskiem  |
| <b>ŚWIADCTWO UWIERZYLNIENIA TRACI WAŻNOŚĆ z dniem 31 grudnia 2005 r. lub wcześniej w przypadku:</b> | - uszkodzenia liczników pomiarowych<br>- zmiany warunków metrologicznych pomiarowych wchodzących w skład stanowiska<br>- zmiany konstrukcyjnych wpływających na poprawność metrologiczną stanowiska<br>- stwierdzenia, że błąd w rozróbce wchodzących w skład stanowiska przekracza granicę błędów dopuszczalnych |
| <b>Nr Działania zgf. 01/241</b>   | <b>Data:</b> 2001.07.17   |

Rys. 6. Wybrane świadectwa uwierzytliwienia aparatury pomiarowej stosowanej w Laboratorium Przepływów