

## Ryszard RUDZIŃSKI

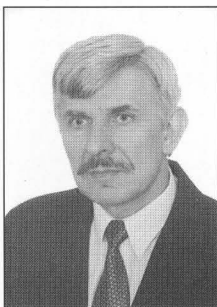
POLITECHNIKA WARSZAWSKA, WYDZIAŁ MECHATRONIKI, INSTYTUT METROLOGII I SYSTEMÓW POMIAROWYCH

# Stanowisko do sprawdzania dokładności czujników zegarowych w laboratoriach przemysłowych

Dr inż. Ryszard RUDZIŃSKI

Absolwent Wydziału Mechaniki Precyzyjnej (obecnie Mechatroniki) Politechniki Warszawskiej (1971 r.). Od 1971 roku pracuje w Instytucie Metrologii i Systemów pomiarowych Politechniki Warszawskiej. Pracę doktorską obronił w 1979r. Jego zainteresowania związane są z komputeryzacją w pomiarach makro i mikrogeometrii powierzchni, atestacją czujników i współrzędnościowych maszyn XYZ.

e-mail: R.Rudzinski@mchtr.pw.edu.pl



### Streszczenie

W artykule przedstawiono wykonane w Instytucie Metrologii i Systemów Pomiarowych stanowisko do sprawdzania czujników zegarowych o działce elementarnej 0,01 mm i zakresie do 10 mm. Stanowisko to dzięki opracowanemu programowi komputerowemu znacznie skraca czas pomiaru, pozwalając na sprawdzanie błędów czujników w sposób półautomatyczny.

### Abstract

A station for testing dial indicators was developed in the Institute of Metrology and Measurement Systems. The station is designed for examination of indicators with scale interval of 0,01 mm in the range of 10 mm. Implementation of an original software ensures fast testing of indicators in a semi-automatic way.

## 1. Wprowadzenie

Do najbardziej rozpowszechnionych czujników stosowanych w przemyśle należą czujniki zegarowe o zakresie 10 mm z działką elementarną o wartości 0,01 mm. Zastosowane w nich przekładnie zębate dość szybko zużywają się, zużycie zębów jest na ogół nierównomierne. W związku z tym wymagane jest częste sprawdzanie charakterystyki w wielu punktach zakresu pomiarowego. Typowy sposób sprawdzania polega na zadawaniu wzorcowych przemieszczeń trzpienia pomiarowego, notowaniu błędów wskazań, sporządzaniu wykresów, ich analizie i porównywaniu wyznaczonych błędów z wymaganiami. Z uwagi na konieczność spełnienia równocześnie wielu kryteriów liczbowych, analiza wyników jest bardzo uciążliwa i istnieje duże ryzyko pomyłek. Również czas samego sprawdzania jest nadmiernie długi.

W artykule przedstawiono metodę i stanowisko do sprawdzania czujników, wolne od wymienionych wad i nadające się do upowszechnienia w przemyśle.

## 2. Wymagania dotyczące czujników zegarowych

Czujniki zegarowe są objęte polską normą [1]. Do niedawna obowiązywały w zakresie sprawdzania czujników zegarowych instrukcje wydane przez GUM [2,3], precyzujące wymagania metrologiczne dotyczące sprzętu pomiarowego i sposobu jego wykorzystania oraz dokumentowania wyników sprawdzania. Obecnie podstawą do funkcjonowania laboratoriów sprawdzających czujniki jest instrukcja wewnętrzna, dostosowana do możliwości badawczych danego laboratorium.

Norma [1] wprowadza dwie klasy dokładności czujników I i II. Norma ta przedstawia wymagania dotyczące błędów czujników w formie tabeli, uzależniając wartości dopuszczalnego błędu od mierzonej różnicy wymiarów. Dla czujników zegarowych o zakresie 10 mm tabela podaje dopuszczalne wartości w całym zakresie oraz w przedziałach 2 mm, 0,5 mm i 0,1 mm a także błąd powtarzalności.

Zgodnie z ogólną regułą, niepewność rozszerzona pomiaru błędów wskazań przyrządu pomiarowego nie powinna przekraczać 30% dopuszczalnych błędów wskazań tego przyrządu. Za-

łożono, że stanowisko powinno umożliwiać sprawdzanie czujników obu klas. Zatem wymagana dokładność stanowiska jest narzucona przez wymagania stawiane czujnikom klasy dokładniejszej tj. klasy I.

Na rys. 1 przedstawiono, w postaci wykresu, na tle granicznych dopuszczalnych błędów czujnika kl. I, wymaganą niepewność sprawdzania błędów wskazań czujnika. Oś pozioma wykresu przedstawia różnicę wskazań sprawdzanego czujnika, a oś pionowa dopuszczalne błędy czujnika dla tej różnicy. Zaznaczony obszar wyznacza dopuszczalną niepewność sprawdzania tej różnicy wskazań.



Rys. 1. Dopuszczalny błąd sprawdzania błędów wskazań czujnika zegarowego na tle dopuszczalnych błędów czujnika kl. I (wg PN 68/M 53260) w funkcji wykorzystywanej części zakresu pomiarowego.

## 3. Metody sprawdzania czujników zegarowych

Krzywa błędów wskazań czujników zegarowych charakteryzuje się wyraźnym lecz niezbyt nieregularnym pofalowaniem, którego źródłem są błędy kolejno współpracujących zębów przekładni czujnika. Często obserwuje się silne lokalne zużycie przekładni w wyniku intensywnej eksploatacji przy jednym ustawieniu. Dlatego sprawdzenie błędów wskazań i histerezy czujnika zegarowego przeprowadza się zazwyczaj co 0,1 mm w całym zakresie pomiarowym, przy narastaniu wskazań i przy ich zmniejszaniu się. Daje to ponad 200 punktów sprawdzania.

Najprostszym sposobem sprawdzania czujników jest zastosowanie jako wzorca głowicy mikrometrycznej. Instrukcja GUM [3] dopuszczała wykorzystanie handlowej głowicy mikrometrycznej do zadawania wzorcowego przesunięcia stopniowanego co 0,1 mm. Stanowiska takie nie są jednak produkowane, choć zaprojektowanie i wykonanie uchwytu umożliwiającego współosiowe zamocowanie głowicy i sprawdzanego czujnika nie przedstawia trudności. Rozwiązanie to jest niewystarczająco dokładne, m.in. z powodu małej długości działki elementarnej głowicy (ok. 0,8 mm) oraz znacznych subiektywnych błędów interpolacji działki sprawdzanego czujnika.

Profesjonalne stanowisko, w którym rolę wzorca pełni śruba mikrometryczna o działce elementarnej 1 μm oferuje firma Mitutoyo [6]. W tym przypadku unika się interpolacji nastawiając żądane wskazania na sprawdzanym czujniku i odczytując wskazania przyrządu. Jest to najtańsze stanowisko dostępne na rynku. Jego cena nie przekracza 5000 zł. Zasadniczą wadą omawianego stanowiska, a także innych rozwiązań mechanicznych jest konieczność ręcznego ustawienia wskazania sprawdzanego czujnika, odczytania wskazania przyrządu wzorcowego, zanotowania wyników, sporządzenia wykresu błędów wskazań oraz jego interpretacji. Czynności te zajmują pracownikowi około 40 minut.

Z technicznego punktu widzenia możliwa jest pełna automatyzacja, pozwalająca na skrócenie czasu pomiaru do kilku minut [4]. Stanowisko takie byłoby wyposażone np. kamerą CCD do obserwacji położenia wskazówki na tle podzielnicy oraz szybki komputer do analizy obrazu w czasie rzeczywistym. Z uwagi na duży koszt stanowisko takie może być opłacalne jedynie dla producentów czujników.

Zastosowanie systemu kontroli półautomatycznej z wykorzystaniem komputera może dać wyraźne skrócenie czasu kontroli przy niewielkich kosztach aparaturowych. Kontrola półautomatyczna polega na tym, że pracownik ustawia wskazanie na sprawdzanym czujniku, a następnie wyzwala przesłanie wskazania przyrządu wzorcowego do komputera. Jest to możliwe, jeżeli przyrząd ten jest wyposażony w przetwornik długości działający na zasadzie elektrycznej. Zastosowanie komputera pozwala także na eliminację błędów grubych, np. wynikających z nieuwagi pracownika. Takie stanowiska są dostępne na rynku (np. OPTIMAR100 firmy Mahr[6]), jednakże z uwagi na wysoką cenę nie znajdują szerokiego rozpo-  
wzechnienia.

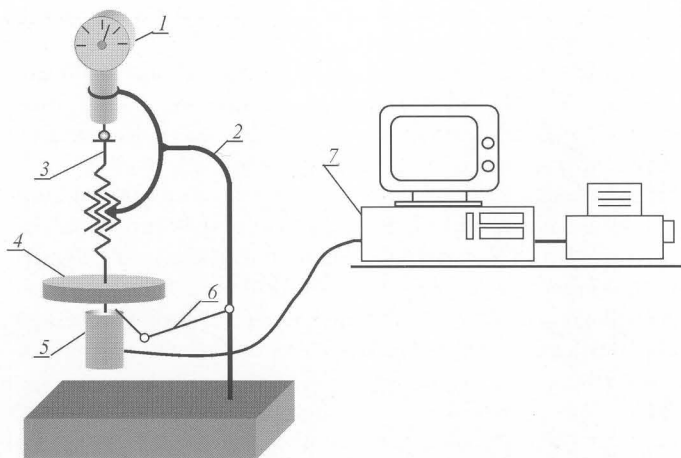
Artykuł omawia stanowisko półautomatyczne, którego cena jest zbliżona do ceny przyrządów ręcznych.

#### 4. Opis stanowiska pomiarowego

Po analizie możliwych rozwiązań, do realizacji przyjęto projekt (rys. 2) wykorzystujący w charakterze wzorca głowicę mikrometryczną sprzęgniętą z przetwornikiem obrotowo-impulsowym o rozdzielczości równej 1/1500 obrotu. Uwzględniając skok śruby mikrometrycznej wynoszący 0,5 mm, otrzymano rozdzielczość stanowiska równą 1/3  $\mu\text{m}$ .

Sprawdzany czujnik 1 i głowica mikrometryczna 3 są zamocowane wspólnie w podstawie 2 w położeniu pionowym. Głowica mikrometryczna jest wyposażona w pokrętkę 4 o dużej średnicy w celu ułatwienia i przyspieszenia obsługi. Poniżej, do wrzeciona głowicy mikrometrycznej zamocowano wałek przetwornika obrotowo-impulsowego 5, mierzącego obrót wrzeciona. Korpus przetwornika jest zabezpieczony przed obrotem za pomocą łącznika 6, zamocowanego przegubowo z jednej strony do kolumny, a z drugiej do ramienia przymocowanego do korpusu. Obrót wrzeciona głowicy wymusza przesunięcie trzpienia badanego czujnika.

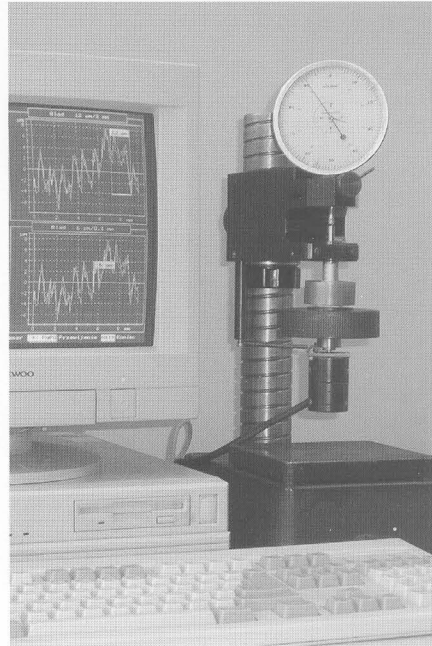
W skład stanowiska wchodzi także komputer 7 typu IBM PC wraz drukarką do sporządzania protokołów sprawdzenia.



Rys. 2. Schemat stanowiska do sprawdzania czujników: 1 - badany czujnik, 2 - korpus stanowiska, 3 - głowica mikrometryczna, 4 - pokrętkę, 5 - przetwornik obrotowo-impulsowy, 6 - zabezpieczenie przetwornika przed obrotem, 7 - komputer

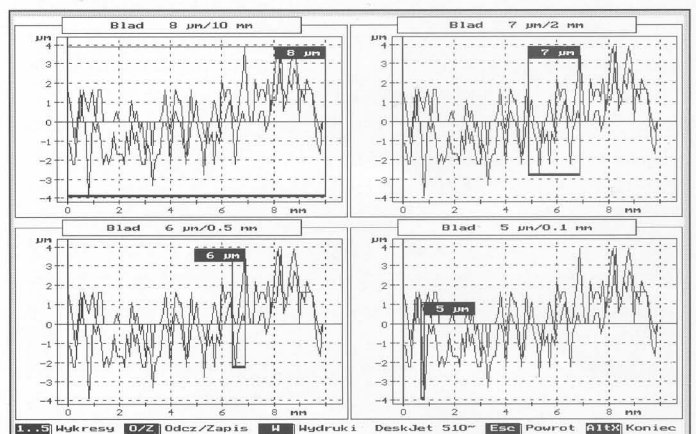
Rysunek 3 przedstawia wygląd wykonanego stanowiska. Po prawej stronie widoczna jest część mechaniczna stanowiska z zamocowanym sprawdzanym czujnikiem. Po lewej znajduje się komputer z uruchomionym programem ZEG-2005 w trakcie trwania badania czujnika.

Program obsługi stanowiska pracuje pod kontrolą systemu operacyjnego DOS, gdyż w celu redukcji kosztów stanowiska rewersyjny licznik impulsów zrealizowano w sposób programowy, a to wymaga pracy w czasie rzeczywistym. Do akwizycji sygnałów z przetwornika nie jest wymagane dodatkowe wyposażenie komputera, gdyż wykorzystano port dżojstika. Dodatkową tego zaletą jest możliwość wykorzystania praktycznie każdego komputera i drukarki.



Rys. 3. Wygląd stanowiska w trakcie wykonywania pomiarów

Procedura sprawdzania czujnika z wykorzystaniem opracowanego programu polega na zadawaniu takich położzeń trzpienia czujnika, w których wskazówka czujnika pokrywa się z kolejnymi ocyfrowanymi kresami podzielnicy. W każdym ze 101 punktów, rozmieszczonych co 0,1 mm, operator potwierdza wykonanie sygnalizowanego przez komputer ustawienia przez wciśnięcie klawisza spacji, a komputer zapamiętuje wskazania przetwornika. Badania wykonuje się przy wskazaniach rosnących i malejących, co pozwala na wyznaczenie histerezy i błędów wskazań zgodnie z normą [1]. Wyznaczane kolejno wartości błędów wskazań czujnika są sukcesywnie przedstawiane na wykresie. W razie wystąpienia zbyt dużych błędów program sygnalizuje ten fakt dźwiękowo, co zapobiega pomyłkom operatora. Na zakończenie pomiarów wyniki badań są automatycznie zapisywane. Protokół sprawdzania zawiera tabele wyników, wykresy błędów oraz dane dotyczące czujnika, operatora i czasu wykonania sprawdzenia. Przykład przedstawienia wyników przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Przykładowy ekran z wynikami sprawdzania czujnika z analizą błędów w podzakresach

## 5. Analiza źródeł błędu stanowiska

Przeprowadzono analizę teoretyczną niepewności stanowiska, uwzględniając wszystkie czynniki wpływające. Wyniki oszacowania niepewności wyznaczone dla poszczególnych przedziałów przedstawia drugi wiersz tabeli 1.

Na podstawie wyników badania niepewności pomiaru wykonanego stanowiska (rys. 5) wykonanych za pomocą czujnika typu P10 firmy Sylvac[6] powstał trzeci wiersz tabeli. Jak widać, jedynie dla zakresu do 0,01 mm nie doszacowano niepewności. Natomiast dla pozostałych zakresów otrzymano wyniki wyraźnie lepsze niż przewidywane teoretycznie, co można wytłumaczyć mniejszymi błędami skoku śruby mikrometrycznej w stosunku do danych normatywnych.

Tab. 1. Wyniki sprawdzenia stanowiska.

Przedział różnicy wskazań	mm	do 0,01	do 0,1	do 0,5	do 2	do 10
Niepewność wyznaczona teoretycznie	μm	0,7	1,1	2,0	3,1	3,8
Niepewność wyznaczona doświadczalnie	μm	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0
Błąd graniczny dopuszczalny czujnika wg PN	μm	3	5	10	15	20
Stosunek niepewności do błędu granicznego dopuszczalnego	%	27	20	10	7	5

W ostatnim wierszu tabeli zestawiono w procentach stosunek wyznaczonej niepewności stanowiska do błędu granicznego dopuszczalnego sprawdzanych czujników. Nie przekracza on założonej wartości 30% i systematycznie maleje (do 5%) wraz ze zwiększaniem szerokości przedziału.

## 6. Podsumowanie

Przedstawione stanowisko, umożliwia zautomatyzowany proces zbierania i analizy danych, zapewniając co najmniej trzykrotne zmniejszenie czasochłonności sprawdzania czujników w stosunku do tradycyjnej procedury sprawdzania, tj. z odczytywaniem, zapi-

sywaniem i analizą wyników przez operatora. Pomiar jest szybki i obiektywny. Wprowadzane dane są na bieżąco analizowane przez komputer, a wyniki przedstawiane na wykresie co zapobiega popełnieniu pomyłek. Dzięki sygnalizacji dźwiękowej operator może się skupić wyłącznie na obserwacji wskazań sprawdzanego czujnika. Niepewność pomiarów we wszystkich podprzedziałach nie przekracza 30% dopuszczalnych błędów wskazań czujników zegarowych klasy I.

Stanowisko i opracowany program ZEG-2005 są dziełem w pełni oryginalnym. Zaletą zrealizowanego jest możliwość efektywnego wykorzystania starszego sprzętu komputerowego. Oprogramowanie pozwala nie tylko na wnikliwą analizę wyników bieżących, ale również analizę zmian błędów wskazań zachodzących w trakcie całej eksploatacji czujnika.

## 7. Literatura

- [1] PN 68/M 53260. Czujniki zębate zegarowe
- [2] Przepisy metrologiczne o przyrządach czujnikowych mechanicznych. Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa nr 11 Warszawa, 19 kwietnia 1996. str. 358-361
- [3] Instrukcja sprawdzania czujników zębatych zegarowych z działką elementarna o wartości 0,01 mm. Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa nr 11 Warszawa, 19 kwietnia 1996. str. 374-377
- [4] Praca zbiorowa pod red. J. Tomasika. Sprawdzanie narzędzi do pomiaru długości i kąta. Oficyna Wydawnicza PW 2003.
- [5] Rudziński R., Tomasik J.: Kalibracja czujników przemieszczeń z wykorzystaniem komputerowego stanowiska. VI 74-377. Symposium Klubu Polskie Forum ISO 9000 "Metrologia w systemach jakości". Kielce 16-18.10.2000 r. Mater. Symposium Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, t. I, s. 185-192
- [6] Katalogi i prospekty firm ZEISS, MAHR, MITUTOYO, SYLVAC

**Title:** A dial indicator accuracy testing station for industrial laboratories.

Artykuł recenzowany

## INFORMACJE

W okresie 2004/2005 Politechnika Gdańska obchodziła dwie rocznice: **100-lecie uczelni politechnicznej w Gdańsku i 60-lecie Politechniki Gdańskiej**. W dniu 3 czerwca 2005 roku odbyło się uroczyste posiedzenie Senatu Politechniki będące centralnym punktem uroczystości 60-lecia Politechniki Gdańskiej. W tym uroczystym posiedzeniu pod przewodnictwem **JM Rektora PG prof. dr. hab. inż. Janusza RACHONIA** uczestniczyli Rektorzy polskich i zagranicznych uczelni technicznych oraz przedstawiciele wszystkich Wydziałów Uczelni i społeczności akademickiej. Wśród wymienionych Wydziałów był **Wydział Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej**, który zorganizował w latach 2004-2005 bogaty program obchodów Jubileuszu, w tym szereg imprez naukowych, historycznych i promocyjnych. Z okazji Jubileuszu Wydziału wydane zostały specjalne zeszyty czasopism naukowo-technicznych: **Pomiary-Automatyka-Kontrola** i **Przegląd Elektrotechniczny**. Należy podkreślić, że nasze czasopismo **PAK** objęło patronatem prasowym Jubileusz Politechniki Gdańskiej.



Szczegółowy opis Jubileuszu znajduje się w czasopiśmie uczelnianym PG nr 7(110) z października 2005 roku.