

Zbigniew DĄBEK, Piotr DAMBECKI

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA W BYDGOSZCZY
ZAKŁAD METROLOGII TECHNICZNEJ

Sprawdzanie kątowników walcowych

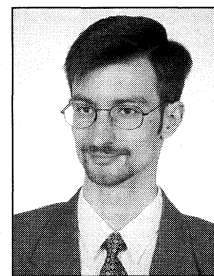
Dr inż. Zbigniew DĄBEK

– adiunkt - kier. Zakładu Metrologii Technicznej na Wydziale Mechanicznym w Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w 1971 r. na Wydziale Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Warszawskiej. Odbył szereg staży naukowych: Instytut Obrabiarek i Narzędzi – Moskwa, Instytut Mechaniki Precyzyjnej i Optyki – Sankt Petersburg, Politechnika – Sofia, Politechnika – Mińsk Białoruski. Zainteresowania naukowe to: analiza wielkości tolerowanych, analiza błędów, pomiary długości i kąta, statystyczna kontrola jakości. Jest autorem i współautorem ok. 50 publikacji naukowych.



Mgr inż. Piotr DAMBECKI

– urodził się 10 października 1973r. w Bydgoszczy. W latach 1988-1993 kształcił się w Zespole Szkół Mechanicznych nr 1 w Bydgoszczy o spec. Technologia Osprzętu Lotniczego i Urządzeń Pokładowych, 1993-1998 Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy Wydział Mechaniczny spec. Projektowanie Procesów Technologicznych w Budowie Maszyn. Przynależność do Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Mechaników Polskich, sekcja metrologii. Zatrudniony w Kolejowych Zakładach Łączności Sp. z o.o. w Bydgoszczy, stanowisko: konstruktor. Zainteresowania – lotnictwo, modelarstwo lotnicze, praktyczne problemy metrologii w przemyśle.



Streszczenie

Autorzy przedstawiają analizę sprawdzania odchylenia od prostokątności powierzchni pomiarowej walcowej względem powierzchni pomiarowych płaskich w kątownikach walcowych zalecanego przez Główny Urząd Miar oraz przedstawiają koncepcję sprawdzania tego parametru w oparciu o własny projekt przyrządu.

Abstract

The authors present the analysis of testing deviations of perpendicularity of circular active faces in relation to flat active faces in circular squares which are recommended by the Central Office of Measures. They also present the conception of testing this parameter developed within the framework of their own project.

WSTĘP

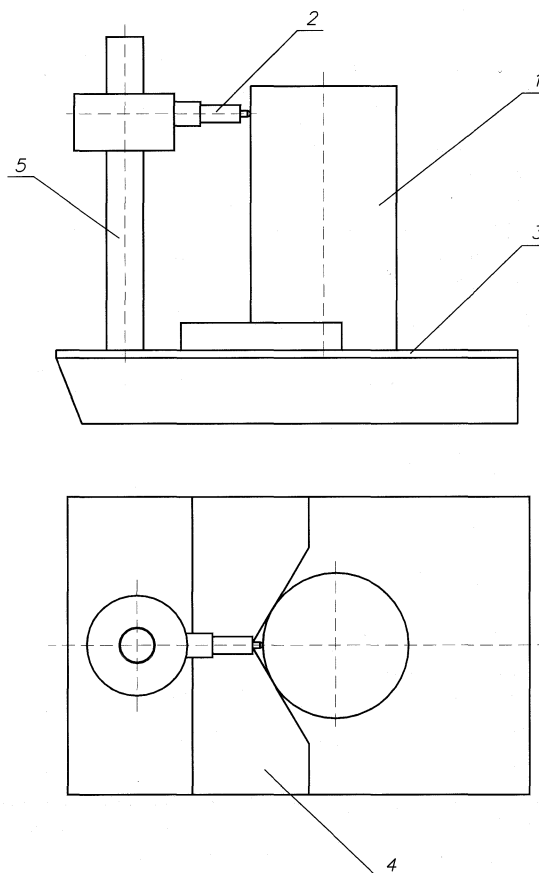
W budowie maszyn w wielu przypadkach zachodzi potrzeba uzyskania prostokątności prostej względem płaszczyzny. Stąd też podczas prac wzorcarskich używa się kątowników krawędziowych lub powierzchniowych. Jako wzorce prostokątności przy sprawdzaniu kątowników krawędziowych i powierzchniowych oraz przy najdokładniejszych pracach wzorcarskich używane są kątowniki walcowe 90°.

Kątownik taki ma trzy powierzchnie robocze. Są to obie podstawy i powierzchnia walcowa. Sprawdzanie odchylenia od prostokątności odpowiednich powierzchni roboczych wiąże się z pewnymi trudnościami. Specyfika problemu wynika z faktu, że jedna z powierzchni roboczych jest powierzchnią walcową. Pomiar sprawdzający musi zatem odbywać się w punktach położonych na obwodzie. Biorąc pod uwagę wąskie pole tolerancji przewidziane dla kąta 90° w kątownikach walcowych „dla kątownika 315x100 klasy 0 dopuszczalne odchylenie od prostokątności wynosi 5 μm, natomiast dla klasy dokładności 00 wynosi 3 μm” [3] pomiar taki staje się problematyczny już od strony metodycznej.

Urządzenie do sprawdzania odchylenia od prostokątności powierzchni pomiarowej walcowej względem powierzchni pomiarowych płaskich w kątownikach walcowych zalecane przez Główny Urząd Miar [1] przedstawiono na rys. 1.

Algorytm postępowania jest przy tym następujący [4]:

1) statyw (5) z czujnikiem (2) oraz pryzmę należy ustawić na płycie pomiarowej (3),



Rys. 1. Urządzenie do sprawdzania odchylenia od prostokątności powierzchni pomiarowej walcowej względem powierzchni pomiarowych płaskich w kątownikach walcowych zalecane przez Główny Urząd Miar: 1- kątownik, 2-czujnik, 3-płyta pomiarowa, 4-pryzma, 5-statyw

- 2) kątownik (1) należy ustawić na płycie pomiarowej w taki sposób, aby jego powierzchnia pomiarowa walcowa stykała się z dwiema powierzchniami przyzmy,
- 3) końcówkę pomiarową czujnika należy doprowadzić do zetknięcia z powierzchnią kątownika,
- 4) kątownik należy obrócić w sposób ciągły o 360°, znajdując największe a_1 i najmniejsze a_2 wskazanie czujnika,
- 5) kątownik należy ustawić na jego przeciwległej płaskiej powierzchni pomiarowej i powtórzyć czynności zgodnie z pkt. 3 i 4, znajdując największe b_1 i najmniejsze b_2 wskazanie czujnika.

Odchylenie od prostokątności e powierzchni pomiarowej walcowej względem powierzchni pomiarowych płaskich oblicza się według wzoru:

$$e = x + |y| \quad (1)$$

gdzie:

$$y = \frac{a_1 + a_2 - b_1 - b_2}{4} \quad (2)$$

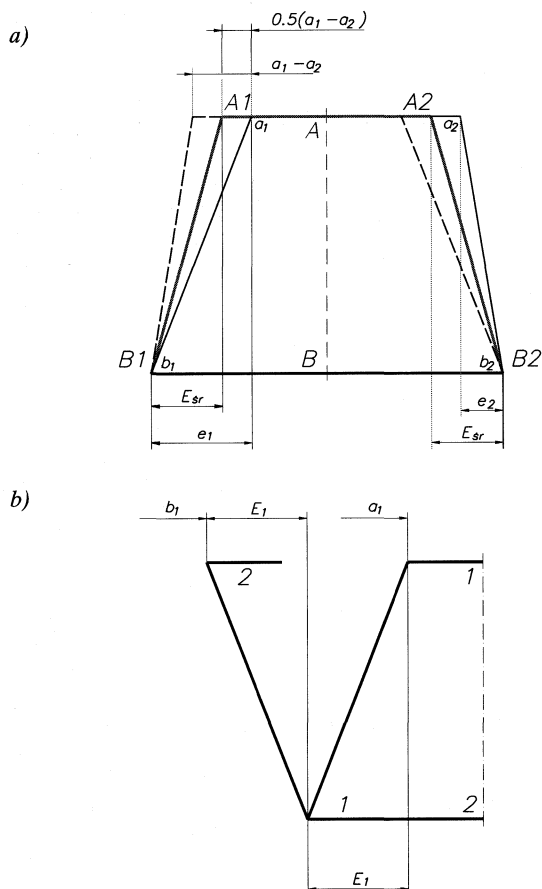
oraz: $x = x_{i\max}$, $i = 1, 2$,

gdzie:

$$x_1 = \frac{a_1 - a_2}{2} \quad x_2 = \frac{b_1 - b_2}{2} \quad (3)$$

a_1, b_1 - największe wskazanie czujnika,
 a_2, b_2 - najmniejsze wskazanie czujnika.

Wzory te wynikają z następującej analizy [2]:



Rys. 2. Interpretacja odchylenia od prostokątności powierzchni pomiarowych w kątownikach walcowych 90°

Na podstawie rys.2 (a) i (b) można zapisać:

$$E_1 = \frac{a_1 - b_1}{2} \quad E_2 = \frac{a_2 - b_2}{2} \quad (4)$$

Są to odchylenia od prostokątności odpowiednich boków trapezu równoramiennego. Z założenia odchylenia te są równe i stąd można obliczyć ich średnią wartość:

$$2 \cdot E_{er} = \frac{a_1 - b_1}{2} + \frac{a_2 - b_2}{2} \quad (5)$$

$$E_{er} = \frac{a_1 + a_2 - b_1 - b_2}{4} \quad (6)$$

Maksymalne odchylenie prostokątności tworzącej A_1B_1 względem podstawy B_1B_2 wynosi zatem:

$$e_1 = E_{er} + \frac{a_1 - a_2}{2} \quad (7)$$

czyli:

$$e_1 = \frac{a_1 - a_2}{2} + \frac{a_1 + a_2 - b_1 - b_2}{4} \quad (8)$$

oraz analogicznie, odchylenie prostokątności tworzącej A_1B_1 względem podstawy A_1A_2 wynosić będzie:

$$e_2 = \frac{b_1 - b_2}{2} + \frac{a_1 + a_2 - b_1 - b_2}{4} \quad (9)$$

Powyższe wzory są tożsame ze wzorami zawartymi w Dzienniku Urzędowym Miar i Probiernictwa Nr 23/95 poz.129.

Uwagi i wnioski

Sprawdzenie kątownika zgodnie z przedstawionym schematem nie daje odpowiedzi na pytanie jaki jest błąd wzorca kąta prostego odtwarzanego przez badany kątownik. Wynikiem pomiarów jest bowiem wartość wielkości e , która nie jest ani kątem, ani tangensem badanego kąta. Wielkość ta nazwana została *odchyleniem powierzchni roboczej walcowej względem powierzchni roboczych płaskich*, co budzi pewne wątpliwości, ponieważ pod pojęciem prostokątności dwóch prostych (płaszczyzn) rozumiane jest takie ich wzajemne położenie w przestrzeni, że kąt między nimi ma wartość 90°. Odchyłkę prostokątności prostej (tworzącej walca) zaleca się wyrażać w jednostkach długości Δ na długości obszaru cząstkowego [6]. Schemat postępowania w opisanym metodzie nie przewiduje jednak określenia długości obszaru cząstkowego. Odchylenie od prostokątności powinno być zatem wyrażone w stopniach, ewentualnie w postaci wartości tangensa kąta, co jest często praktykowane w podawaniu wartości kątów małych. Ponadto musi być, w przypadku kątownika walcowego, rozpatrywane dwa razy, tzn. względem każdej podstawy oddzielnie, ponieważ w większości zastosowań praktycznych wystarczy, aby odtworzenie kąta prostego było wystarczająco dokładne w odniesieniu do jednej tylko podstawy, pod warunkiem, że będzie wiadomo - której.

Wielkość e , traktowana jako wynik sprawdzenia wyrażona jest w jednostkach długości. Znając odległość okręgu, na którym leżą punkty pomiarowe od podstawy, na której kątownik stoi, można by przekształcić ją w odchylenie kątowe (korzystając z funkcji tangens). Nie można tego jednak uczynić, gdyż odchylenie e nie odnosi się do konkretnej tworzącej walca, ani też do konkretnej

podstawy. Nie istnieje zatem graficzne odniesienie tej wielkości. Wynika to z faktu, że analizowany sposób pomiaru opiera się o uśrednienie poszczególnych (maksymalnych) odchyłeń, co tym samym uniemożliwia przypisanie wielkości e do konkretnego przekroju kątownika. Ponadto schemat obliczeniowy wymaga, aby do wzoru końcowego:

$$e = x + |y|$$

podstawić większą spośród dwóch wartości x , gdzie x_1 oraz x_2 dotyczą różnych podstaw. Pozornie wydawałoby się, że jest to rozgraniczenie obu odchyłeń (częstkowych) i przyjęcie do wyniku końcowego tego mniej korzystnego, tzn. większego - ale tak nie jest. Struktura wielkości y zaprzecza jednak temu, gdyż zbudowana jest na wielkościach związanych z obiema podstawami. Wynikałoby stąd, że odchylenie od kąta 90° między powierzchnią walcową, a jedną z powierzchni płaskich zależne jest także od drugiej powierzchni płaskiej.

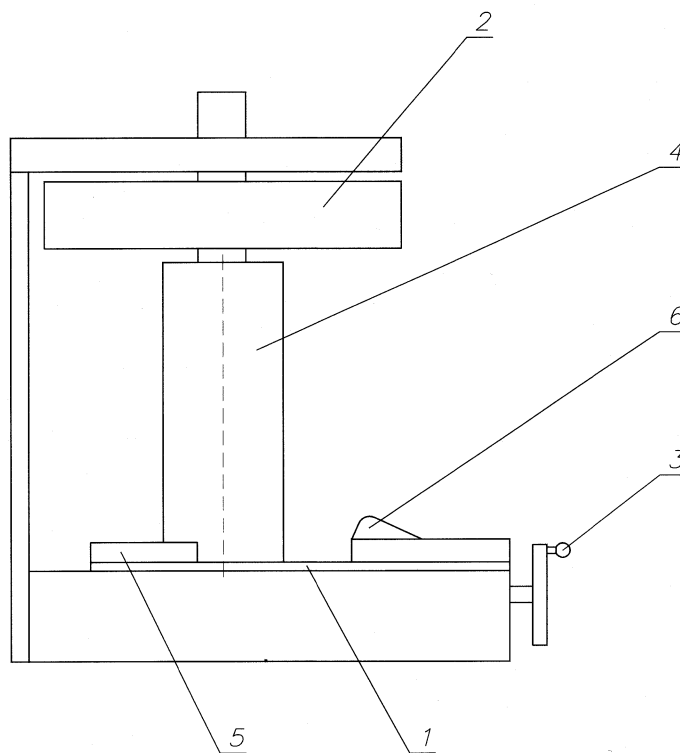
Rekapitulując dotychczasowe rozważania na temat geometrycznego sensu wyniku pomiarów jakim jest wielkość e można stwierdzić, że:

- wielkość e nie jest odchyleniem od prostopadłości powierzchni pomiarowej walcowej względem powierzchni pomiarowej płaskiej, gdyż jej wartość jest wynikiem błędów prostopadłości względem obu podstaw,
- wielkość e jest wyrażona w jednostkach długości i nie można jej przekształcić w odchylenie kątowe,
- wielkość e można traktować jedynie jako parametr jakościowy świadczący o przydatności kątownika walcowego 90° do eksploatacji bez określenia wartości błędów kąta prostego odtwarzanego przez wzorzec.

Aby uniknąć tych niedogodności, w Zakładzie Metrologii Technicznej Akademii Techniczno-Rolniczej, zaprojektowano przyrząd do sprawdzania odchyłeń od prostopadłości powierzchni pomiarowej walcowej względem powierzchni pomiarowej płaskiej. Istota działania przyrządu polega na pomiarze odchyłeń w ośmiu punktach na obwodzie kątownika, przy czym pomiar wykonuje się dwukrotnie: u góry i u dołu. Przyrząd jest schematycznie przedstawiony na rys. 3, a bardziej szczegółowo przedstawiony na rys. 4.

Istotne jest wyeliminowanie z procesu sprawdzania zarówno obrotu kątownika, jak i konieczności podnoszenia i zmiany jego podstawy, co pozwoli istotnie zwiększyć powtarzalność otrzymywanych wyników. Pomiar odbywa się z wykorzystaniem przyrządu, którego obsługa nie wymaga dużych umiejętności manualnych. Najbardziej istotny jest jednak fakt, że metoda pozwala na określenie faktycznych odchyłeń od prostopadłości poszczególnych podstaw względem powierzchni roboczej walcowej wyznaczonej za pomocą kątownika wzorcowego.

Sprawdzany kątownik podczas całego pomiaru spoczywa na stole pomiarowym (1). Jego właściwe położenie jest wyznaczone przez pryzmę oporową (5) oraz sygnalizowane na panelu kontrolnym (6). Zespół pomiarowy składa się z ośmiu czujników indukcyjnych zamocowanych promieniście w podporcie (2). Liczba czujników może być powiększona do około 20, jednak znacznie zwiększy to koszt przyrządu. Pomiar odbywa się w górnym i dolnym położeniu. Odległość między górnym i dolnym położeniem jest określona i stanowi długość obszaru cząstkowego. Różnica wskazań poszczególnych czujników stanowi podstawę do obliczenia wartości tangensa kąta, który jest odchyleniem od prostopadłości. Ustawienie zerowe przyrządu odbywa się z wykorzystaniem kątownika wzorcowego oraz czujników zamocowanych w przyrządzie.



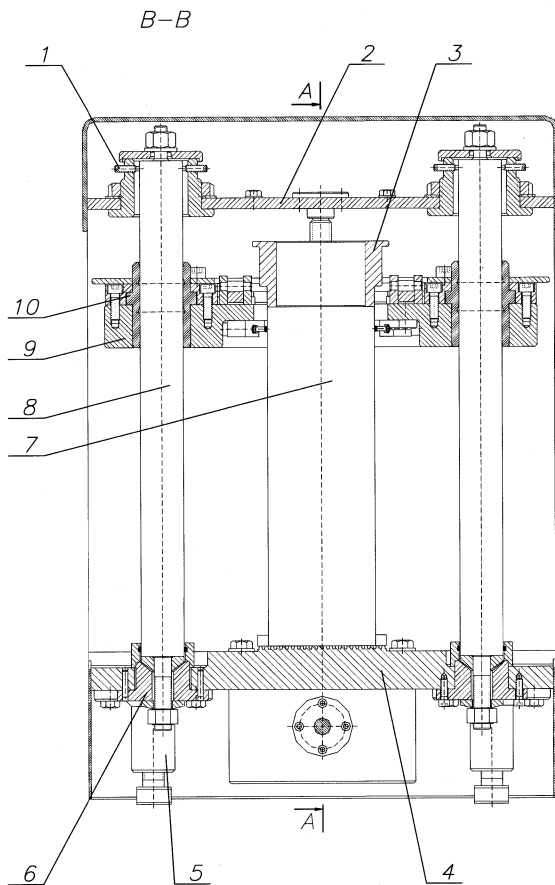
Rys. 3. Schemat przyrządu do sprawdzania odchylenia od prostopadłości powierzchni pomiarowej walcowej względem poszczególnych powierzchni pomiarowych płaskich: 1-stół pomiarowy 2-suport z czujnikami pomiarowymi, 3-korbka, 4-sprawdziany kątownik, 5-pryzma oporowa, 6-panel kontrolny

Ustawienie zerowe przyrządu dokonywane jest tylko raz przez odpowiednie ustawienie słupów prowadzących za pomocą przesuwanych mocowań. Zapewnia to pionowy, praktycznie równoległy, przesuw czujników podczas pomiaru. Konstrukcja przyrządu wymaga wysokiej dokładności wykonania stołu pomiarowego (8) i tulei prowadzących (10). Są to elementy mające w konstrukcji decydujący wpływ na dokładność pomiarów. Podczas konstruowania przyrządu analizie poddane zostały m.in. takie możliwe błędy:

- a) błąd pozycjonowania kątownika w pryzmie,
- b) błąd ustalenia pryzmy,
- c) błąd wynikający z tolerancji wykonania poszczególnych części,
- d) błąd wynikający z suwliwego połączenia suportu i słupów prowadzących.

Błędy wskazane w pkt. a-c są niwelowane podczas ustawiania zerowego. Wpływ na dokładność pomiaru może mieć błąd opisany w pkt. d. Konstrukcja przyrządu zapewnia jednak maksymalną wartość tego błędu na poziomie $\xi = 0,032 \mu\text{m}$. Błąd ten można więc uznać za nieistotny.

Konstrukcja przyrządu jest bardzo podatna na modyfikacje. Napęd suportu może być ręczny z pozycjonowaniem na zderzakach mechanicznych, lub też może być elektryczny i odbywać się w pełni automatycznie. Wyniki pomiaru, z uwagi na postać cyfrową, można łatwo przetwarzać z wykorzystaniem komputera PC. Umożliwia to graficzne przedstawienie odchyłeń od prostopadłości w poszczególnych przekrojach kątownika (symbolicznie, z zastosowaniem znacznych powiększeń). Niezależnie od przyjętych założeń, przyrząd pozwala na realizację metody pomiaru opracowanej przez Główny Urząd Miar. Podczas powstawania tego artykułu przyrząd przeszedł szereg modyfikacji konstrukcyjnych mających na celu zwiększenie uniwersalności oraz pełną automatykę pomiaru. Urządzenie zostało zgłoszone do Urzędu Patentowego.



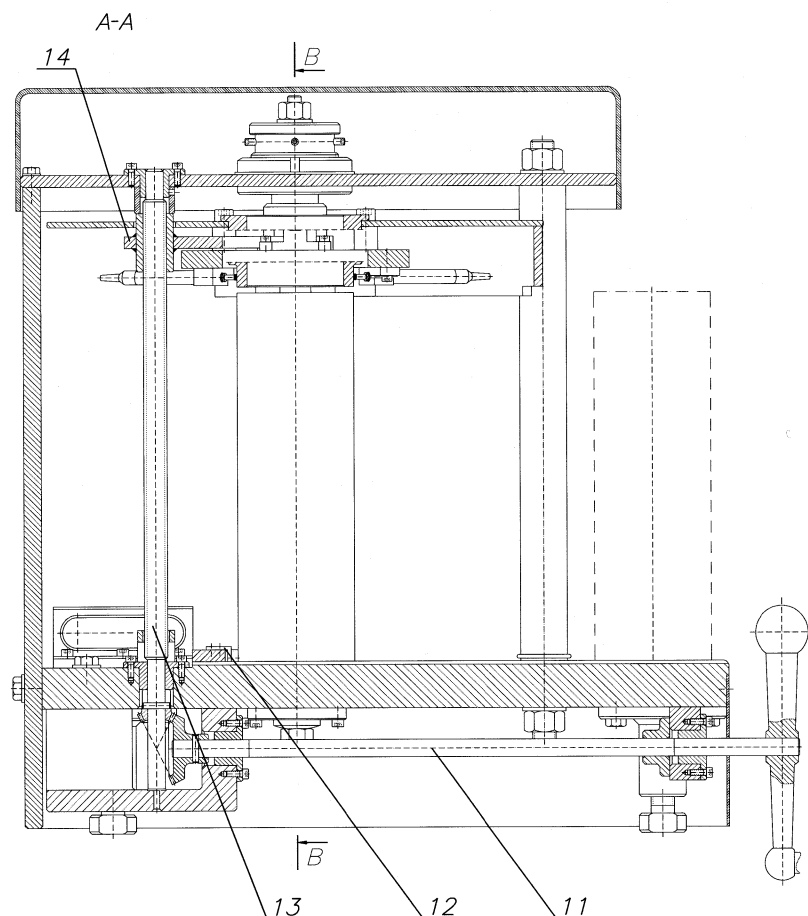
Wnioski

- sposób pomiaru zalecany przez Główny Urząd Miar jest możliwy do zastosowania w każdym prawie laboratorium pomiarowym bez specjalnych nakładów finansowych; jest to jednak sposób trudny do manualnego opanowania oraz nie dający faktycznej odpowiedzi na pytanie o błąd kąta prostego jaki jest odtworzony przez badany kątownik,
- przyrząd zaprezentowany przez autorów zapewnia łatwy manualny pomiar, daje możliwość wyznaczenia odchylenia od prostokątności powierzchni pomiarowej walcowej względem poszczególnych powierzchni pomiarowych płaskich; wadą natomiast takiego rozwiązania jest konieczność ustawienia zerowego według wzorca i znaczny koszt wykonania.

Literatura

- [1] P. DAMBECKI: Praca dyplomowa. Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy. 1998 r.
- [2] T. WOŻNY: Kontrola metrologiczna kątowników walcowych 90°, Praca dyplomowa. Politechnika Warszawska 1974 r.
- [3] Zarządzenie nr 131 Prezesa Głównego Urzędu miar z dnia 16 października 1995r. w sprawie wprowadzenia instrukcji sprawdzania kątowników 90° stalowych - walcowych (Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa nr 23/95 poz. 128 s. 767-768).
- [4] Zarządzenie nr 131 Prezesa Głównego Urzędu miar z dnia 16 października 1995r. w sprawie wprowadzenia instrukcji sprawdzania kątowników 90° stalowych - walcowych (Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa nr 23/95 poz. 129 s. 769-772).
- [5] PN-86/M-53160 Narzędzia pomiarowe. Kątowniki 90° stalowe.
- [6] PN-78/M-02137 Tolerancje kształtu i położenia. Nazwy i określenia.

Artykuł recenzowany



Rys. 4. Uproszczony rysunek konstrukcyjny zaprojektowanego przyrządu:
 1-wkręty regulacyjne,
 2-korpus,
 3-tuleja aretażowa,
 4-podstawa,
 5-nogi,
 6-gniazdo kulowe,
 7-sprawdzany kątownik,
 8-słup prowadzący,
 9-suport,
 10-tuleja prowadząca,
 11-mechanizm napędowy,
 12-pryzma z czujnikiem położenia,
 13-śruba podnośnika,
 14-wysięgnik