

VI f. Przystawy czujnikowe

Przystawy czujnikowe są narzędziami pomiarowymi stosowanymi głównie do pomiarów porównawczych. Umożliwiają one określanie odchyłki wymiaru badanego względem wcześniej ustalonej wartości wzorcowej – ich porównanie. Wzorcem najczęściej jest plytka wzorcowa długoci. Może też być to inny przedmiot, np. w produkcji masowej wyrób uznany za reprezentatywny dla całej populacji. Bez udziału wzorców można mierzyć różnicę wymiarów jednego przedmiotu, np. pochylenie klina na odcinku L, wysokośc zatoczenia D względem œrednicy d itp. W czujnikach powiększana jest wartoc wielkości mierzonej tak, że niewielka jej zmiana może być zaobserwowana i określona.

Czujnik sklada się z następujących zespołów:

- organ przetwarzający (przetwornik) i powiększający,
- urządzenie wskazujące (miernik),
- urządzenie dotykowo-przesuwne i naciskowe (trzcienie pomiarowy).

Ze względu na konstrukcję rozróżnia się następujące rodzaje czujników:

- mechaniczne,
- optyczno-mechaniczne,
- interferencyjne,
- elektryczne,
- izotopowe,
- pneumatyczne.

Podstawowe cechy metrologiczne i konstrukcyjne to:

- wartoc działki elementarnej,
- zakres pomiarowy podziałki (zakres wskazań),
- przełożenie pomiarowe (czuoc),
- długoc działki elementarnej,
- nacisk pomiarowy,
- niedokładnoc wskazań,
- niepowtarzalnoc wskazań (rozrzut wskazań),
- œrednica trzpienia.

1. Czujniki mechaniczne

W dziedzinie budowy maszyn najszersze zastosowanie mają czujniki mechaniczne z odczytem zegarowym lub cyfrowym. Służą do pomiarów małych wielkości geometrycznych poprzez ruch trzpienia i powiększenie wychylenia nawet do 10 000 razy. Występują z reguły razem z urządzeniem mocującym, czyli podstawką. Tuleja chwytna ma średnicę najczęściej ϕ 8h6 mm, a rzadziej ϕ 4 lub 28 mm.

Składają się zwykle z: a) miernika, b) organu przekładniowego, c) zespołu dotykowo-naciskowego.

Ze względu na rodzaj konstrukcji przekładni dzielą się na:

- zębate,
- dźwigniowe,
- dźwigniowo-zębate,
- dźwigniowo-śrubowe,
- sprężynowe.

Typowymi pracami pomiarowymi wykonywanymi za pomocą czujników są:

- przesuwanie powierzchni płaskiej, pochyłej, walca lub otworu w dowolnych kierunkach, w płaszczyźnie prostopadłej do osi trzpienia pomiarowego w celu pomiaru odchyłek ich kształtu,
- obrót walca lub otworu okrągłego celem pomiaru ich bicia,
- pomiar luzów w częściach maszyn, np. łożysk, kół zębatych itp.

1.1. Czujniki zębate zegarowe MDAA

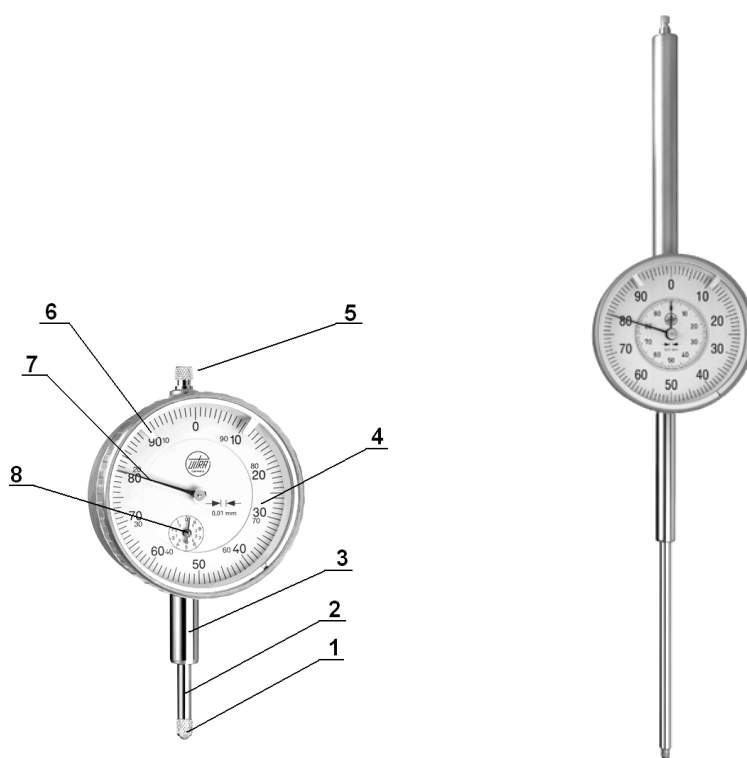
Są to najbardziej rozpowszechnione w pomiarach warsztatowych czujniki. Ich zaletą jest odporność na kurz, drgania i przeciążenia, często są wodoodporne i niemagnetyczne. Najczęściej budowane są na zakres pomiarowy 10 mm i dokładność wskazań 0,01 mm, ale mogą być też zakresy większe, do 100 mm i dokładności 0,001 mm – oczywiście przy zmniejszonym zakresie pomiarowym. W zakresach pomiarowych większych niż 1 mm wyposażone są w dodatkową, mniejszą skalę milimetrową (zegar). Pozwala to uniknąć pomyłki grubej, milimetrowej. Tarcza wskaźnikowa powinna być wyposażona w nastawne wskaźniki tolerancji, przydatne zwłaszcza przy większej ilości pomiarów tej samej wartości. Końcówka pomiarowa jest wymienna, wkręcana w trzpień na gwint M2,5. Pozwala to na jej dobór właściwy do zmieniających się warunków pomiarowych, najczęściej jednak ma kształt kulisty, najbardziej uniwersalny. Czujniki do pracy mocowane są w specjalnych uchwytach najczęściej z podstawą magnetyczną. Norma PN-68/M-53260 „Warsztatowe środki pomiarowe. Czujniki zębate zegarowe” podaje dopuszczalne błędy wskazań i ich powtarzalność dla czujników o dokładności wskazań 0,01 mm i zakresie

pomiarowym 3 i 10 mm. Są one uzależnione od wartości mierzonej oraz klasy dokładności czujnika i wynoszą wg tab.1

Tabela 1. Dopuszczalne błędy wskazań i powtarzalności wskazań czujnika

Klasa dokładności	Dopuszczalne błędy wskazań w [μm]				
	dla przedziału zakresu pomiarowego				dla powtarzalności
	0,1 mm	0,5 mm	2 mm	cały zakres	
I	5	10	15	20	3
II	8	15	20	30	5

Określenie „dla przedziału zakresu pomiarowego” oznacza, że w/w wartości błędów nie mogą być przekraczane przez czujnik w żadnym dowolnym miejscu, np. $0 \pm 0,1$; $2,5 \pm 2,6$; $9,7 \pm 9,8$ mm itd. Błąd powtarzalności czy raczej jego braku, dotyczy pomiarów dokonywanych w identycznych warunkach tym samym przyrządem. Nacisk pomiarowy nie powinien być większy niż 1,5 N, a jego zmienność w całym zakresie pomiarowym nie większa niż 0,6 N.



Rys. 1. Czujniki zębate zegarowe:

- 1) wymienna końcówka, 2) trzpień pomiarowy, 3) tuleja chwytna, 4) tarcza, końcówka do unoszenia trzpienia pomiarowego, 5) wskaźnik tolerancji, 6) duża wskazówka (dokładna), 7) mała wskazówka (zgrubna)

Rys. 1. przedstawia czujniki w wersji:

- a) działka elementarna 0,01 mm, zakres pomiarowy 10 mm, zakres pomiarowy na jeden obrót wskazówki wynosi 1 mm.
- b) działka elementarna 0,01 mm, zakres pomiarowy 100 mm, zakres pomiarowy na jeden obrót wskazówki wynosi 1 mm.

Pełne sprawdzanie metrologiczne powinno odbywać się okresowo zgodnie z instrukcją ujętą w Dzienniku Urzędowym Miar i Probiernictwa nr 11/96 poz. 59, 60 lub 61 (w zależności od typu czujnika) i obejmuje:

- oględziny zewnętrzne,
- sprawdzanie nacisku pomiarowego,
- wyznaczanie zmiany wskazań wywołanej naciskiem bocznym na trzpień pomiarowy,
- wyznaczanie zakresu rozrzutu wskazań,
- sprawdzanie tłumienia układu wskazującego,
- sprawdzanie wpływu pochyleń czujnika na wskazanie,
- wyznaczanie błędów wskazań,
- wyznaczanie histerezy pomiarowej.

Dopuszczalne odchylenia podane są w Dz.U.M.i P. nr 11/96 oraz w normie PN-68/M-53260. W/w sprawdzania wymagają specjalistycznego oprzyrządowania oraz kwalifikacji i dlatego należy powierzać je uprawnionym laboratoriom.

Natomiast sprawdzanie metrologiczne sposobem warsztatowym sprowadza się głównie do oględzin zewnętrznych. Zwracamy szczególnie uwagę na:

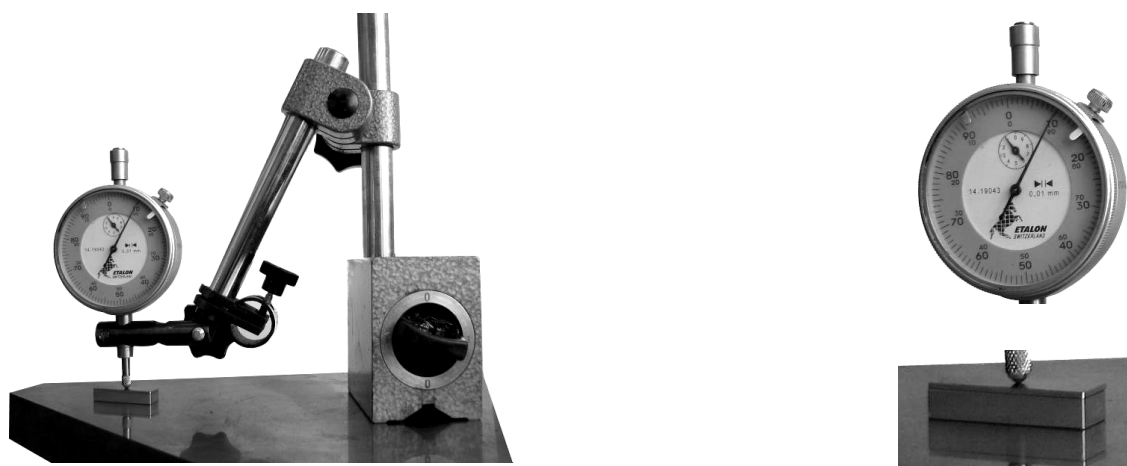
- czytelność tarczy,
- prostoliniowość i pewność zamocowania wskazówki,
- zużycie końcówki pomiarowej.

Przesuw trzpienia, praca przetwornika i obrót wskazówki powinny być płynne, bez zacięć i luzów. Sprawdzamy to poprzez parokrotny nacisk na końcówkę pomiarową, aż do zrealizowania pełnego zakresu wskazań.

Pomiar błędów wskazań dokonujemy w całym zakresie pomiarowym, a minimum w trzech punktach: początkowym, środkowym i końcowym. Do tego konieczna jest płyta pomiarowa i płytki wzorcowe.

Po wyzerowaniu wskazań czujnika na powierzchnię płyty podkładamy pod końcówkę trzpienia czujnika kolejne płytki wzorcowe i porównujemy wartość wskazań z odczytem na tarczy zegarowej – rys. 2.

Pomiar wartości histerezy jest o tyle ważny, że wraz ze zużywaniem się elementów przekładniowych może przybrać dużą wartość. Pomiar ten dokonujemy przy okazji oceny błędów wskazań wg zasady j.w., z tym, że mierzymy płytki wzorcowe o narastających wartościach np. 1 mm, 5 mm i 10 mm, a następnie te same, ale odwrotnie, tj. 10, 5 i 1 mm. Różnica wskazań narastających i malejących na poszczególnych wartościach jest miarą histerezy. Wyniki należy odnieść do wymagań normy PN-68/M-53260.



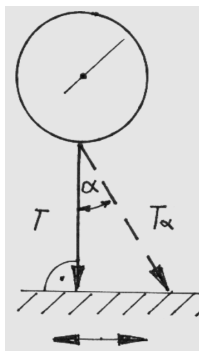
Rys. 2. Skalowanie czujnika przy pomocy płytki wzorcowej

Pomiar odchyłki badanego przedmiotu od wskazań zerowych ustalonych na wzorcu odbywa się przez przesuw pionowy trzpienia z naciętą zębatką (wewnątrz zegara), co powoduje obrót koła zębatego wraz z osadzoną na nim wskazówką. Przesuw trzpienia jest identyczny z odchyłką od wymiaru wyskalowanego. Wzmocnienie przesuwu następuje w układzie dźwigniowym i zębatym. Nacisk pomiarowy zapewnia sprężyna dociskowa. W innej wersji trzpień pomiarowy napędza mechanizm ślimakowy. Skalowanie polega na oparciu końcówki pomiarowej na wzorcu i ustawieniu wskazań zera podziałki na wskazówce. Dokonać tego można poprzez obrót podziałką w dowolnym kierunku. Łatwo to zrobić, gdyż powierzchnia boczna podziałki jest przeważnie radełkowana. Należy jednocześnie zwrócić uwagę na położenie wskazówki małej. Złe odczytanie jej wskazań może być powodem błędów grubego. Oczywiście, wzorzec i czujnik muszą mieć tę samą bazę, np. płytę pomiarową – rys. 2. Po ustawieniu wskazań czujnika nie można dokonywać żadnych zmian w położeniu jego oraz podstawki. Do pomiaru unosimy delikatnie trzpień pomiarowy za pomocą górnego jego przedłużenia i podstawiamy badany przedmiot w miejsce wzorca.

Ocena wpływu pochylenia czujnika na wskazania

Często nie można dokonać pomiaru za pomocą czujnika ustawionego prostopadle do badanej powierzchni. Koniecznym jest wykonanie pomiaru czujnikiem pochylonym pod pewnym kątem do

powierzchni badanej. Jest to możliwe i to bez powstania dodatkowego dużego błędu. Należy w tym celu dokonać szeregu sprawdzeń wskazań na tym samym wzorcu lub przedmiocie przy narastającym kącie pochylenia czujnika, aż do momentu, gdy zacznie powstawać istotny błąd pomiaru. Z funkcji trygonometrycznych wiemy, że odchylenie o 15° od prostopadłości nieznacznie tylko wpływa na wartość odczytu przesunięcia. Związane jest to z wartością funkcji cosinus i wobec tego, zwłaszcza przy wskazach dużych wartości odchyłek można korygować.



Rys. 3. Pomiar powierzchni płaskiej czujnikiem z trzpieniem odchylonym od prostopadłości

Współczynniki korekcji kąta α wynoszą:

$$T = T_{\alpha} \times \cos\alpha$$

Tabela 2. Współczynniki korekcji dla pochyłego położenia czujnika

Kąt α°	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Korekcja	0,996	0,985	0,966	0,94	0,91	0,886	0,82	0,766	0,707

Przykład 1

Kąt $\alpha = 5^\circ$, korekcja = 0,966.

Wskaz czujnika $T_{\alpha} = 0,15$ mm.

Rzeczywisty wynik pomiaru: $0,15 \times 0,966 = 0,14(5)$ mm.

Błąd pomiaru wynosi zaledwie pół działki elementarnej czujnika – ponad 3%.

Przykład 2

Kąt $\alpha = 30^\circ$, korekcja = 0,886.

Wskaz czujnika $T_{\alpha} = 0,15$ mm.

Rzeczywisty wynik pomiaru: $0,15 \times 0,886 = 0,13(3)$ mm.

Błąd pomiaru wynosi już prawie dwie działki elementarne czujnika – ponad 11%.

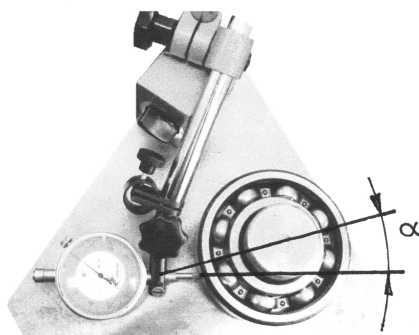
Praktyka dowodzi też, że kąt przyłożenia czujnika mniejszy niż 15° nie wywołuje istotnych sił bocznych działających na trzpień pomiarowy, które dodatkowo mogły by zniekształcić wynik pomiaru. Wartość ta określa dopuszczalny kąt nachylenia czujnika względem powierzchni mierzonej. Większe odchylenia obarczone są już istotnym błędem pomiarowym. Powstaje też dość znaczna siła boczna, oczywiście zależna również od wartości siły nacisku. Jej wpływ sprawdza się przez wykonanie ponownych pomiarów tej samej wartości. Brak powtarzalności wyników świadczy o jej istnieniu. Jednocześnie, oczywiście maleje realny nacisk pomiarowy na powierzchnię badanego przedmiotu.

Uwaga. Duży wpływ na w/w kąt ma dodatkowo chropowatość mierzonej powierzchni, falistość oraz błędy kształtu.

1.2. Najczęściej spotykane błędy w pomiarach czujnikiem zegarowym

Przed rozpoczęciem pomiarów należy nakręcić wskaz zerowy tarczy zegarowej na właściwe położenie wskazówki. Każda niedokładność w tym miejscu, tzw. błąd zera, nakłada się na późniejsze wyniki pomiarów.

Nadmierne pochylenie lub przesunięcie czujnika względem prostopadłej do powierzchni badanej wprowadza błąd do wyniku.. Błąd ten szczególnie łatwo popełnić podczas pomiaru przedmiotów o małej średnicy – rys. 4. Zagadnienie to opisane jest powyżej.



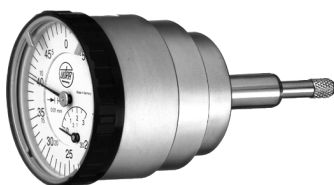
Rys. 4. Graniczne dopuszczalne odchylenia osi czujnika od osi łożyska ($\alpha = 15^\circ$)

Czujnik powinien być w sposób pewny, zamocowany do ramienia podstawki, np. wg normy PN-61/M-53261 „Warsztatowe środki miernicze. Podstawa do czujników zwykła z chwytem $\phi 4$ i 8mm.” Każdy luz może być przyczyną błędów pomiaru. Dlatego zawsze konieczne jest staranne dokręcenie wszystkich ramion podstawki. Również sama podstawa czujnika musi być solidnie przytwierdzona do nieruchomej bazy. Najlepiej, gdy podstawa ma magnes, oczywiście, gdy bazą jest element stalowy. Problem ten rozwiązują czujniki z oprawą magnetyczną, gdyż nie wymagają żadnych, dodatkowych elementów mocujących, oczywiście, gdy mocowane są do przedmiotów stalowych lub żeliwnych – rys. 5. Magnes jest zabudowany na stałe w tylnej pokrywie korpusu czujnika i wobec tego wystarczy położyć go na przedmiocie wykonanym ze stopu żelaza, aby skutecznie do niego przywarł.



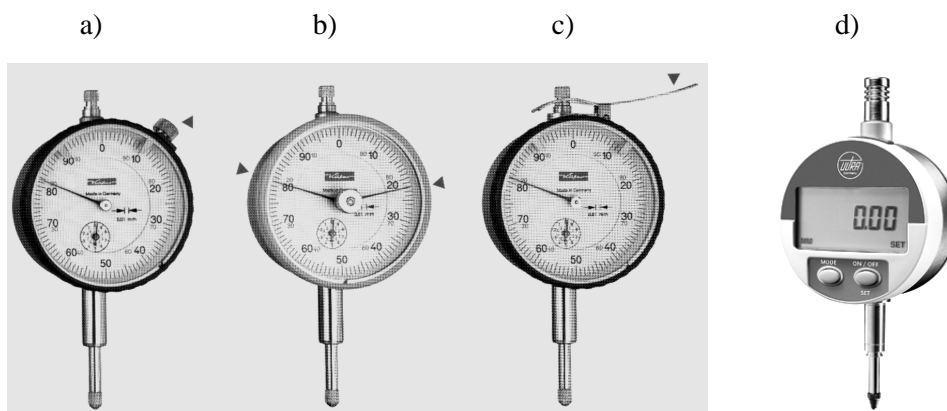
Rys. 5. Czujnik z oprawą magnetyczną

Wskazówka czujników zegarowych obraca się w pewnej odległości nad tarczą z podziałką. Odczyt wskazań z pozycji bocznej wprowadza błąd paralaksy. Z tego powodu należy czujnik tak zamocować w uchwycie, aby wskaźki można było obserwować z pozycji prostopadłej. W niektórych sytuacjach prawidłową obserwację ułatwia czujnik z tarczą usytuowaną prostopadle do trzpienia pomiarowego – rys. 6.



Rys. 6. Czujnik zębaty z wrzecionem prostopadłym do tylnej ścianki

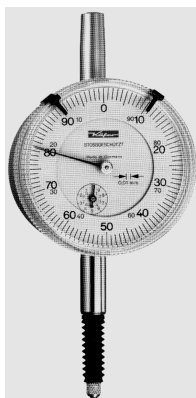
Dokładność pomiarów zwiększa też blokada tarczy – rys. 7a. – w postaci śruby dociskowej po lewej stronie oraz zastosowanie wskazówki biernej – rys. 7b. Podobne zadanie spełnia dźwignia do precyzyjnego unoszenia trzpienia pomiarowego – rys. 7c. Cel ten realizowany jest również za pomocą wężyków fotograficznych lub pompki pneumatycznej, rys. 14c. Czujniki zegarowe produkowane są też w wersji z odczytem cyfrowym – rys. 7d.



Rys. 7. Czujniki zębate w wersjach specjalnych:

- a) ze śrubową blokadą położenia tarczy, b) ze wskazówką czynną i bierną, c) z dźwignią do unoszenia trzpienia pomiarowego, d) z odczytem cyfrowym

Gdy czujnik narażony jest na drgania celowym jest zastosować wersję z korpusem zalanym wodą lub olejem. Z jednej strony wzrasta bezwładność ruchu wskazówki, ale jednocześnie płyn wytłumia wszystkie drgania – rys. 8.



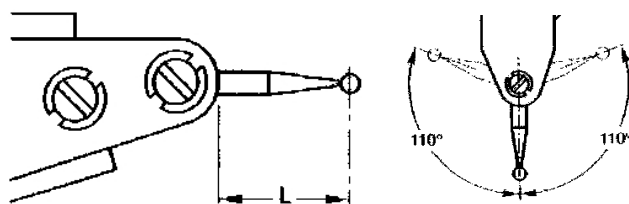
Rys. 8. Czujnik zegarowy z mechanizmem zalanym płynem

2. Czujniki dźwigniowo-zębate MDBe i MDBf

Czujniki dźwigniowo-zębate, zwane też diastestami przeznaczone są do pomiaru odchyłek wymiarów metodą porównania ze wzorcem. W tym miejscu nie różnią się od wcześniej omówionych czujników zębatych. W związku z tym, sprawdzanie ich i nastawianie wskazań zerowych przebiega tak samo. Przełożenie pomiarowe tych czujników uzyskuje się za pomocą układu dźwigniowego i zębatego. Nazwa właśnie wynika stąd, że przekładnia ma charakter podwójny. Pierwsze przełożenie, tj. napędzane ruchem trzpienia pomiarowego stanowi dźwignia, a drugie zębatka sprzężona z kołem zębatym, na którym osadzona jest wskazówka. Odczyt najczęściej jest za pomocą tarczy zegarowej. Czujniki dźwigniowo-zębate mają dokładność wskazań od 0,5 μm do 2 μm i zakres pomiarowy maksymalnie do 1 mm, a najczęściej 0,1 do 0,4 mm, w zależności od dokładności. Są one opisane w normie PN-68/M-02812. Znajdują zastosowanie w przemyśle precyzyjnym. Oprócz rozwiązań tradycyjnych – z trzpieniem przesuwным – są też wykonania z trzpieniem wychylnym. Wersja z trzpieniem wychylnym ma najszersze zastosowanie.

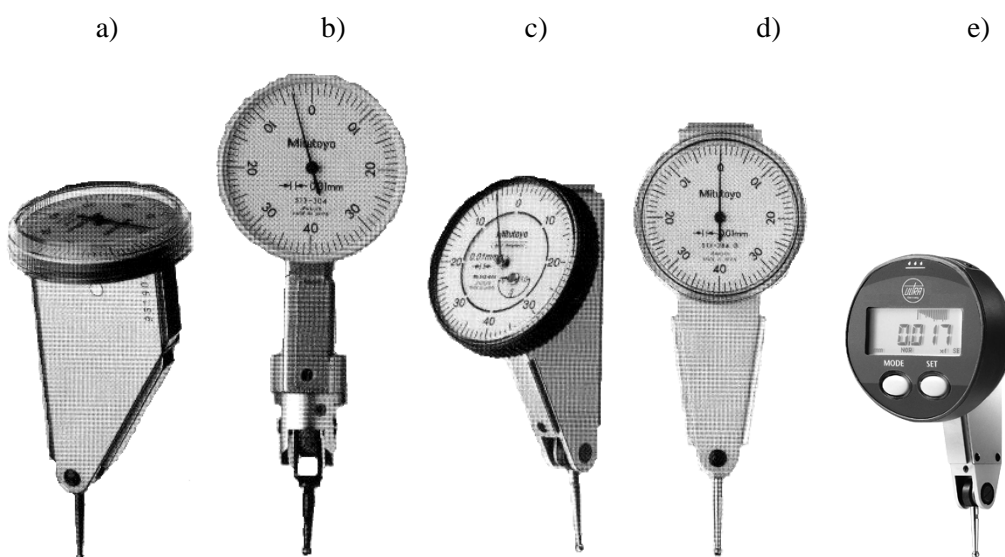
Pełne sprawdzanie metrologiczne należy przeprowadzać wg Instrukcji nr 52, Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa nr 11/96, poz.60. Sprawdza się następujące parametry: a) nacisk pomiarowy, b) siłę potrzebną do zmiany nastawienia położenia kąтового końcówki pomiarowej, c) błędy wskazań, d) histereza pomiarowa, e) zakres rozrzutu wskazań.

Czujniki MDBe wg PN-68/M-02812 z trzpieniem pomiarowym o działaniu bocznym (pochyłym) mają zastosowanie do pomiarów specjalnych. Możliwość wychylania się trzpienia pomiarowego o 90°, a często i więcej w obu kierunkach – rys. 9 – sprawia, że doskonale nadają się do pomiarów przedmiotów przesuwających lub obracających się, zwłaszcza o nierównej powierzchni oraz do miejsc trudno dostępnych.



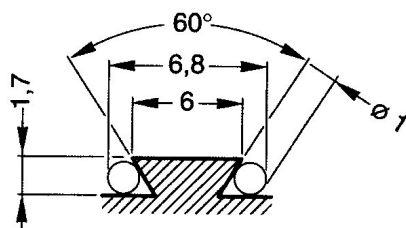
Rys. 9. Trzpień pomiarowy czujników wychylnych

Zadania pomiarowe ułatwiają też zróżnicowane położenia tarczy zegarowej względem osi trzpienia – rys. 10, a także mocowanie do specjalnego uchwyty za pomocą „jaskółczego ogona” o wymiarach jak na rys. 11.



Rys. 10. Czujniki dźwigniowo-zębate:

- a) wykonanie pionowe, b) wykonanie równoległe uniwersalne, c) wykonanie pochyle,
d) wykonanie równoległe, e) wykonanie cyfrowe.



Rys. 11. Jaskółczy ogon diatestu

Mankamentem jest mały zakres pomiarowy i delikatna budowa przetwornika.

Czujniki dźwigniowo-zębate mają też zastosowanie w średnicówkach czujnikowych, w mikrometrach z czujnikiem i transametrach.

3. Czujniki sprężynowe (mikrokatory, metrotesty) MDFa

Przekładnię czujnika stanowi szereg sprężyn i dźwignie, choć bywają też zastosowane kółka zębate. Przesuwany trzpień pomiarowy styka się z ramieniem dźwigni sinusowej, której odchylenie powoduje rozciąganie sprężyny taśmowej i ruch umieszczonej na niej wskazówki. Płaska sprężyna regulacyjna ugina się, powodując zmianę wartości wychylenia wskazówki. Charakteryzują się małym zakresem pomiarowym od 0,025 mm do 1,5 mm, ale dużą dokładnością do 0,2 μm przy małych odchyłkach wskazań do 0,25 μm . Zakres pomiarowy zależy oczywiście od dokładności wskazań.



Rys. 12. Mikrokator z odczytem cyfrowym i analogowym

Te cechy sprawiają, że mają szerokie zastosowanie w przemyśle precyzyjnym, np. w budowie łożysk i laboratoriach pomiarowych. Oczywiście stosowanie mikrokatorów o dokładności wskazań 1 μm i mniejszej wymaga odpowiednio sztywnych statywów, idealnie równej temperatury i odizolowania od drgań. Różnica temperatury tylko o 1°C, przedmiotu badanego o $\phi 100$ mm, wykonanego ze stali i mikrokatora o dokładności 0,2 μm , powoduje błąd 1,15 μm , czyli niemal 6 dziesiątek. Taki pomiar nie ma żadnego sensu metrologicznego, zwłaszcza jak doda się do tego nieodzowny błąd wskazań przyrządu. Dlatego do pomiarów musi być zapewniona temperatura +20°C, a w momencie pomiaru różnica między przedmiotem a narzędziem i wzorcem nie więcej niż $\pm 0,05^\circ\text{C}$.

4. Inne konstrukcje czujników

1. Czujniki mechaniczne

Czujniki dźwigniowe (minimetry, milimetry)

Czujniki dźwigniowe mają mechanizm przekładniowy działający na zasadzie dźwigni nierównoramiennej, do której zamocowana jest wskazówka. Dokładność może wynosić od 0,01 mm do 0,001 mm, a zakres pomiarowy odpowiednio od $\pm 0,3$ mm do $\pm 0,03$ mm. Jest więc bardzo mały. Rozrzut wskazań może wynosić 3 μm do 0,5 μm . Mogą występować w wersji elektrostykowej wraz z rejestratorem i wtedy mogą być stosowane w produkcji masowej. Parametry szczegółowe określa norma PN-61/M-53251.

2. Czujniki dźwigniowo-śrubowe

Przekładnia czujnika składa się z długiej dźwigni wychylanej ruchem końcówki pomiarowej. Koniec dźwigni prowadzony jest w bruzdzie ślimaka. Dzięki temu ruch dźwigni powoduje obrót ślimaka, na którym zamocowana jest wychylna wskazówka. W/w cechy konstrukcyjne sprawiają, że są budowane głównie jako czujniki wychylne o małym zakresie pomiarowym $\pm 0,5$ mm do 1 mm. Dokładność wskazań najczęściej 0,01 mm a błąd pomiaru wynosi ± 15 μ m.

3. Czujniki optyczno-mechaniczne

Optimetr

Składa się głównie z układu optycznego, tj. soczewki i lustra. Działa na zasadzie autokolimacji, tj. obraz przedmiotu powstaje przez odbicie promieni świetlnych od płaszczyzny zwierciadła i zjawia się w płaszczyźnie samego przedmiotu przechodząc za każdym razem przez tę samą soczewkę. Płaszczyzna zwierciadła jest nieco odchylona od osi soczewki i przedmiotu obserwacyjnego, dzięki czemu obraz jest odsunięty od przedmiotu. Optimetry pionowe mają zakres pomiarowy od 0 do 180 mm, działkę elementarną 1 μ m, a błąd wskazań $\pm 0,3$ μ m.

Ultraoptimetr

Zbudowany jest na zasadzie podwójnego odbicia światła od wahliwego zwierciadła. Jest to przyrząd bardzo dokładny: działka elementarna 0,2 μ m, zakres pomiarowy podziałki ± 83 μ m. Wymaga pracy w temperaturze $20^\circ \pm 1^\circ\text{C}$, a różnica temperatur przedmiotu mierzonego i wzorca powinna mieścić się w granicach $\pm 0,05^\circ\text{C}$. Służy głównie do oceny płytek wzorcowych.

Optimetr projekcyjny

Układ projekcyjny tego optimetru jest bardziej skomplikowany, tj. droga promienia świetlnego jest znacznie dłuższa i kończy się na ekranie. Dane metrologiczne: działka elementarna 0,2 μ m, zakres pomiarowy podziałki ± 20 μ m. Również służy do pomiarów laboratoryjnych.

Mikroluks

Ma podobną zasadę działania co optimetr projekcyjny, tzn. obraz przedmiotu również rzutowany jest na ekran projekcyjny. Dane metrologiczne: działka elementarna 1 μ m, zakres pomiarowy podziałki ± 75 do ± 100 μ m, błąd wskazań $\pm 0,5$ μ m.

Optikator

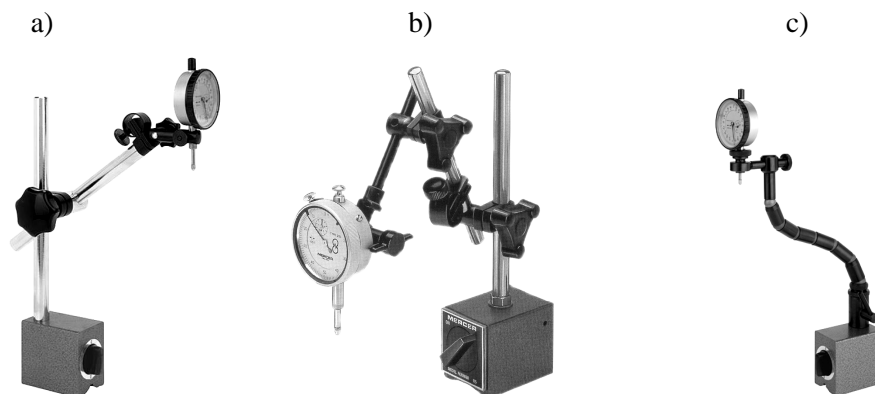
Ruchome zwierciadło (które jest głównym elementem pomiarowym we wszystkich czujnikach optycznych) zamocowane jest na sprężynie taśmowej skręcanej. Wychylenie trzpienia pomiarowego wprowadza w ruch zwierciadło, które rzutuje kresę na skalę. Oczywiście światło przechodzi przez

skomplikowany układ optyczny. Dane metrologiczne: działka elementarna $0,2 \mu\text{m}$, zakres pomiarowy podziałki $\pm 25 \mu\text{m}$.

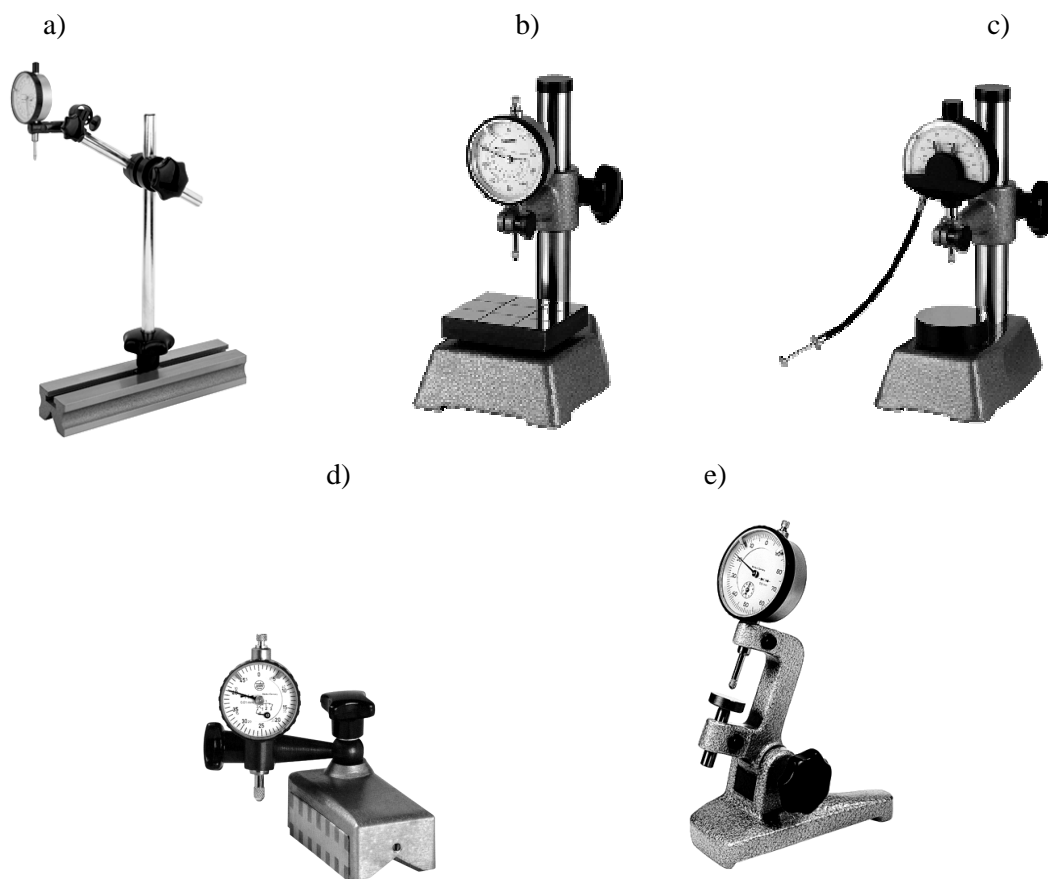
5. Wyposażenie dodatkowe czujników

Najważniejszym elementem wyposażenia czujnika jest statyw z uchwytem. Czujnik niezamocowany nie może spełnić swojej roli. Wyjątek stanowią czujniki z magnesem wbudowanym w jego korpus – rys. 5. Mogą być przytwierdzone bez elementów dodatkowych, ale tylko do przedmiotów wykonanych ze stopów żelaza. Najszersze zastosowanie mają statywy magnetyczne. Podstawka ma widoczne – rys. 13 – pokrętło do włączania i odłączania magnesu. Wyłącznik pozwala na łatwe manewrowanie statywem z czujnikiem. Podstawki mogą mieć też magnesy na ściankach bocznych. Podstawka powinna posiadać rowek pryzmatyczny, najczęściej o kącie rozwartym 120° , który pozwala na pewne zamocowanie statywu na wałkach. Rys. 13. przedstawia różne wykonania statywów z podstawą magnetyczną. Zwiększone możliwości manewrowania czujnikiem przy pomocy statywów wg rys. 13.b i 13.c nie idą w parze z pewnością ich działania. Ogólnie można powiedzieć, że im bardziej złożony jest statyw, tym większe prawdopodobieństwo błędów wskazań czujnika. Dla wyeliminowania pomiarów błędnych należy, podobnie jak to ma miejsce w innych przyrządach, dokonywać częstych kontroli prawidłowości wskazań. Ponieważ czujniki są przyrządami pomiarowymi odniesieniowymi, to oznacza konieczność zerowania wskazań przed podjęciem czynności mierniczych na wzorcu – rys. 2. Okresowa kontrola prawidłowości pracy czujnika polega, więc na sprawdzaniu ponownym ustawień pierwotnych dla danego zadania pomiarowego.

Rys. 14a. przedstawia czujnik-diatest zamocowany w statywie z ciężką podstawą żeliwną. Znaczny ciężar podstawki jest gwarantem stałości jej ustawienia. Oczywiście można ją również zamocować w imadle itp. urządzeniach. Teowy rowek pozwala na zablokowanie pionowej kolumny w dowolnym położeniu. Statyw ten przydatny jest w badaniach przedmiotów wykonanych z metali nieżelaznych, tworzyw sztucznych, ceramiki itp. przy zastosowaniu czujników o małym nacisku pomiarowym, np. diatest.



Rys. 13. Czujnik na statywie z podstawką magnetyczną: a) statyw dwuramienny, statyw trzyramienny, c) statyw przegubowy (wieloczołonowy)



Rys. 14. Czujnik na podstawie: a) żeliwnej, b) ze stolikiem, c) czujnik z wężykiem fotograficznym na statywie ze stolikiem obrotowym, d) podstawka pryzmowa z magnesem, e) stolik pochylny

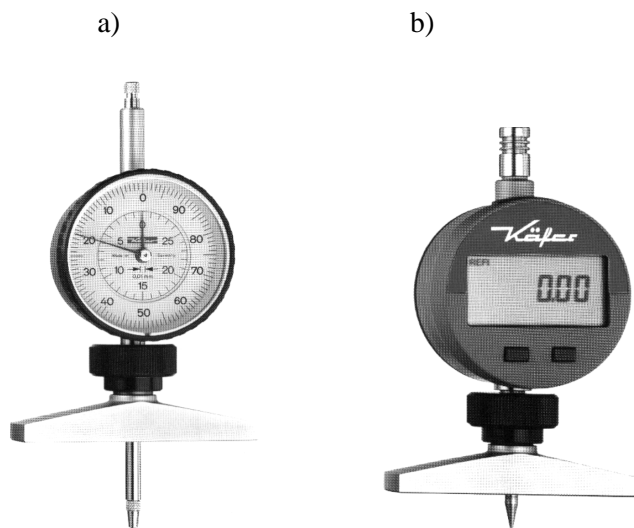
Na rys. 14b czujnik zamocowany jest do kolumny stolika pomiarowego. Jest to najdokładniejszy sposób wykorzystania czujnika, gdyż kolumna najczęściej jest dokładnie prostopadła do powierzchni stolika. Sam stolik może być obrotowy lub przesuwny, co rozszerza zakres prac pomiarowych. Stoliki bywają w różnych kształtach i rozmiarach, żeliwne, z hartowanej stali lub granitu. Także kolumny oprócz powierzchni gładkich mogą mieć gwintowane. Uchwyt czujnika musi mieć otwór również gwintowany. Oczywiście takie rozwiązanie ogranicza możliwości pomiarowe do niedużych, pojedynczych przedmiotów.

Na rys. 14c jest mikrokator z wężykiem do unoszenia trzpienia pomiarowego zamocowany do statywu ze stolikiem obrotowym. Rozwiązanie to sprzyja pomiarom bardzo precyzyjnym, gdyż ogranicza do minimum kontakt z ręką pomiarowca.

Rys. 14d przedstawia czujnik na podstawie pryzmowej z magnesem. Pozwala to na pewne zamocowanie go na powierzchni walcowej.

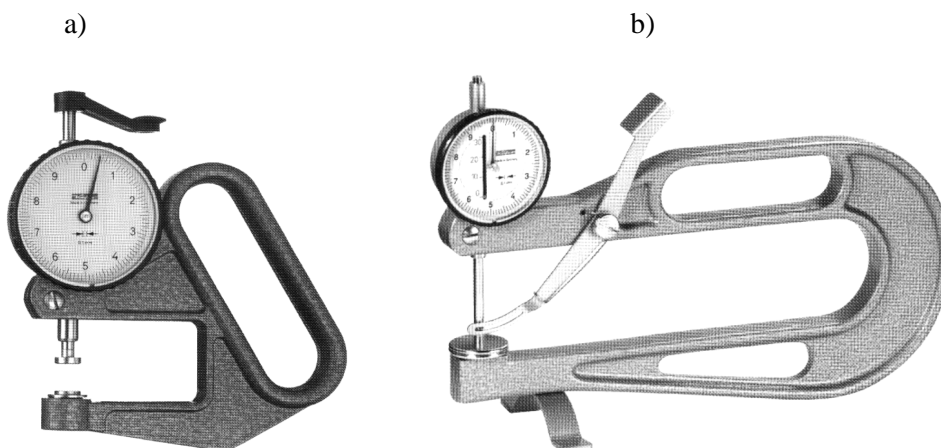
Rys. 14e przedstawia czujnik na podstawie wychylnej. Taki zestaw ułatwia, a przede wszystkim przyspiesza pomiary dużych serii małych przedmiotów.

Innym zastosowaniem czujników są głębokościomierze czujnikowe – rys. 15. Mają budowę podobną do głębokościomierzy mikrometrycznych. Różnią się jednak cechami metrologicznymi w sposób istotny. Mankamentem jest konieczność każdorazowego zerowania wskaźników wraz ze zmianą zadania pomiarowego. Zaletą jest to, że można w sposób szybki dokonywać pomiarów kolejnych podobnych wymiarowo przedmiotów, w tym również przesuwających się pod końcówką pomiarową. Czujnik w wersji elektronicznej, zwłaszcza z wyjściem na zewnątrz pozwala na sterowanie jakością procesów produkcyjnych.

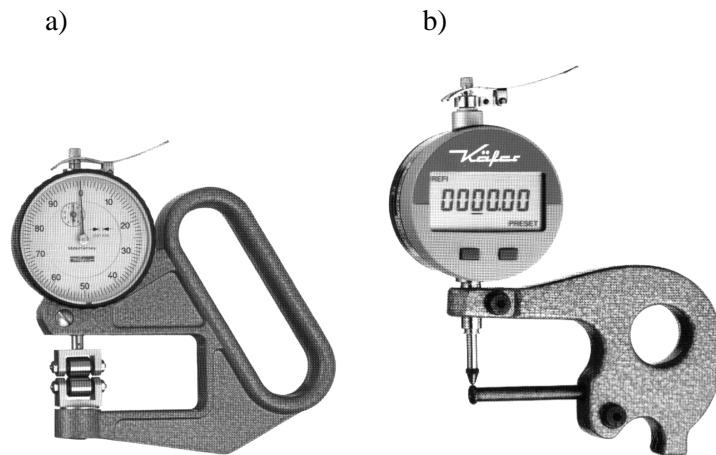


Rys. 15. Głębokościomierz czujnikowy: a) analogowy, b) cyfrowy

Rys. 16 przedstawia różne wersje czujników zabudowanych. Zabudowę stanowią ręczne uchwyty pozwalające na dokonanie pomiarów porównawczych dużych przedmiotów, w tym usytuowanych w niewygodnym położeniu. Czujnik w wersji wg rys. 16a, dzięki małej, zwartej budowie daje duże możliwości dotarcia do miejsc trudnodostępnych, a w wersji wg rys. 16b z kolei ułatwia pomiar blach i innych przedmiotów płaskich.



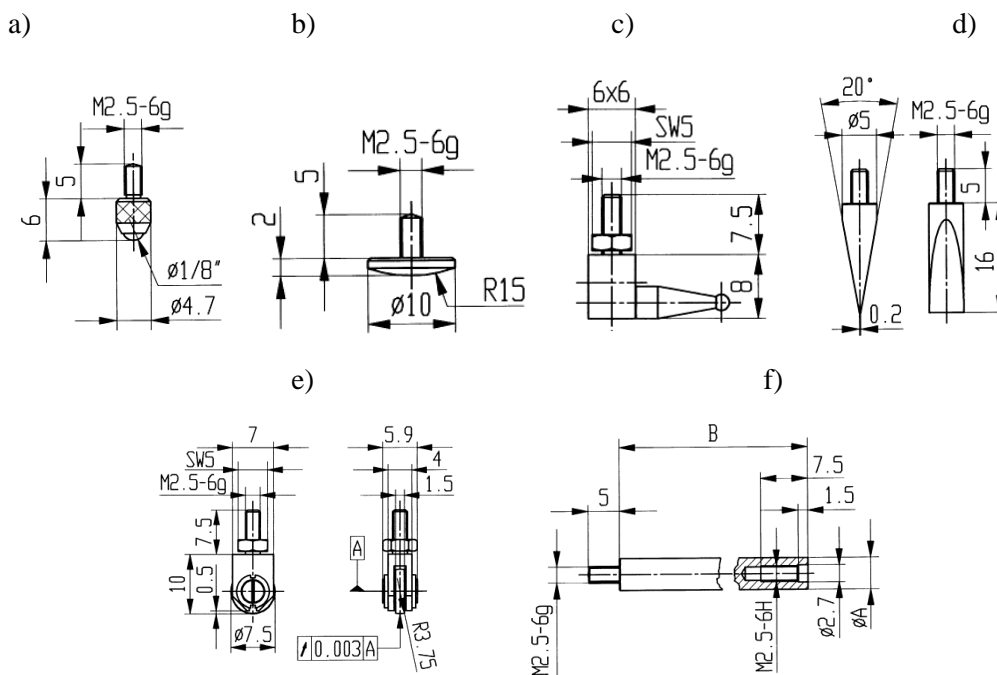
Rys. 16. Czujniki zabudowane



Rys. 17. Czujniki zabudowane specjalne

Również to rozwiązanie konstrukcyjne oferuje różne końcówki pomiarowe rozszerzające możliwości miernicze tych przyrządów. Na szczególną uwagę zasługuje czujnik z końcówkami rolkowymi – rys. 17a. Można nim wykonywać pomiary np. taśm przesuwających się w sposób ciągły. Czujnik wg rys. 17b przystosowany jest do pomiarów punktowych. Gama możliwości tych czujników jest bardzo duża.

Kolejnym elementem wyposażenia czujnika są wymienne końcówki pomiarowe – rys. 18. Pozwalają one na dostosowanie czujnika do specyfiki metrologicznej danego pomiaru. Rysunek przedstawia tylko nieliczne końcówki pomiarowe z bardzo szerokiej gamy ofert. Dodatkowo nic nie stoi na przeszkodzie, aby dorobić własne rozwiązania w zależności od potrzeb. Zadanie to ułatwia znormalizowany gwint M2,5. Oczywiście trzeba pamiętać, że każdej zmianie końcówki pomiarowej musi towarzyszyć ponowne zerowanie wskazań czujnika.



Rys. 18. Końcówki pomiarowe do czujników

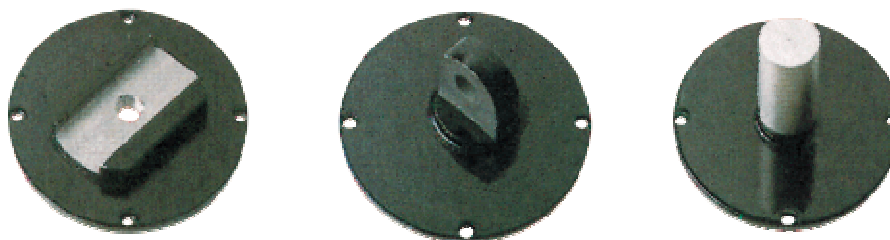
Rys. 18a przedstawia najczęściej spotykaną, bardzo uniwersalną końcówkę kulistą. Pozwala ona wykonywać większość pomiarów typowych części maszyn. Podobny charakter ma końcówka z rys. 18b. Większy promień sprawia, że jest bardziej odporna na ścieranie.

Odsadzenie boczne końcówki z rys. 18c umożliwia penetrację rowków, kanałków, małych otworów itp. Końcówka nożowa z rys. 18d umożliwia penetrację bardzo wąskich rowków.

Końcówka z rolką – rys. 18e – jest szczególnie przydatna w pomiarach bicia i błędów kształtu, czyli przedmiotów będących w ruchu. Obrotowa rolka minimalizuje opory tarcia. Mankamentem tej końcówki jest stosunkowo duża średnica rolki, co uniemożliwia wykrycie małych odkształceń wgłębnych.

Wszystkie końcówki można wydłużyć przy pomocy przedłużacza z rys. 18f.

Do specjalnych, indywidualnych zamocowań służy wymienna tylna ścianka korpusu czujnika, przykłady wg rys.19. Mocuje się ją do czujnika za pomocą śrub lub kleju.



Rys. 19. Ścianki tylne czujnika

Rozwiązań konstrukcyjnych mocowań czujników jest bardzo dużo, a ich korpus przeważnie pozwala, zwłaszcza metodą klejenia, na stosowanie własnych pomysłów. Ważny jest cel nadrzędny, czyli pewność niezmienności położenia czujnika względem przedmiotu badanego w czasie wykonywania pomiaru.

Spis norm

Norma PN-68/M-53260 „Warsztatowe środki pomiarowe. Czujniki zębate zegarowe”.

Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa nr 11/96 poz. 59, 60, 61.

Spis rysunków

Rys. 1. Czujniki zębate zegarowe	238
Rys. 2. Skalowanie czujnika przy pomocy płytki wzorcowej	240
Rys. 3. Pomiar powierzchni płaskiej czujnikiem z trzpieniem odchylonym od prostopadłości	241
Rys. 4. Graniczne dopuszczalne odchylenia osi czujnika od osi łożyska ($\alpha = 15^0$)	242
Rys. 5. Czujnik z oprawą magnetyczną	243
Rys. 6. Czujnik zębaty z wrzecionem prostopadłym do tylnej ścianki	243
Rys. 7. Czujniki zębate w wersjach specjalnych	243
Rys. 8. Czujnik zegarowy z mechanizmem zalany płynem	244
Rys. 9. Trzpień pomiarowy czujników wychyłnych	245
Rys. 10. Czujniki dźwigniowo-zębate	245
Rys. 11. Jaskółczy ogon diatestu	245
Rys. 12. Mikrokator z odczytem analogowym i cyfrowym	246
Rys. 13. Czujnik na statywie z podstawką magnetyczną	248
Rys. 14. Czujnik na podstawce	249
Rys. 15. Głębokościomierz czujnikowy: a) analogowy, b) cyfrowy	250
Rys. 16. Czujniki zabudowane	250
Rys. 17. Czujniki zabudowane specjalne	251
Rys. 18. Końcówki pomiarowe do czujników	251
Rys. 19. Ścianki tylne czujnika	252

Spis tabel

Tab. 1. Dopuszczalne błędy wskazań i powtarzalności wskazań czujnika	238
Tab. 2. Współczynniki korekcji dla pochyłego położenia czujnika	241