

18. POMIARY W TECHNICIE

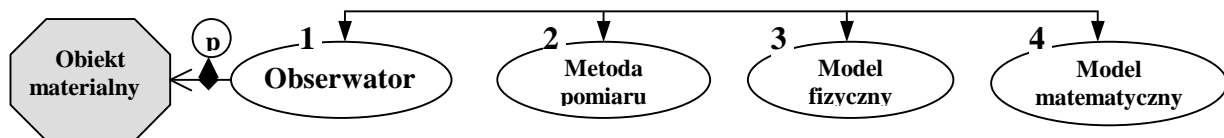
Cel wykładu



18. 1. Pomiar jako metoda naukowego poznawania świata

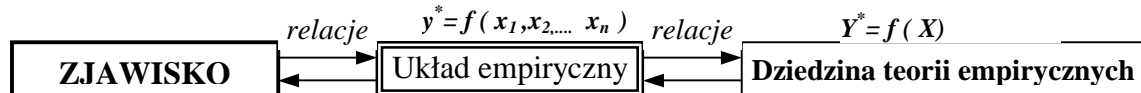
Pomiar jest procesem empirycznym obiektywnego przyporządkowania liczb właściwościom obiektów i zdarzeń świata realnego w sposób umożliwiający ich opisanie.

Pomiar umożliwia wyrażenie praw i teorii naukowych precyzyjnym językiem matematyki i dlatego jest szczególnie istotny w działalności technicznej – określa bowiem dokładność. Kiedy właściwość przedmiotu jest scharakteryzowana liczbą, to liczba ta niesie informacje o tej właściwości.

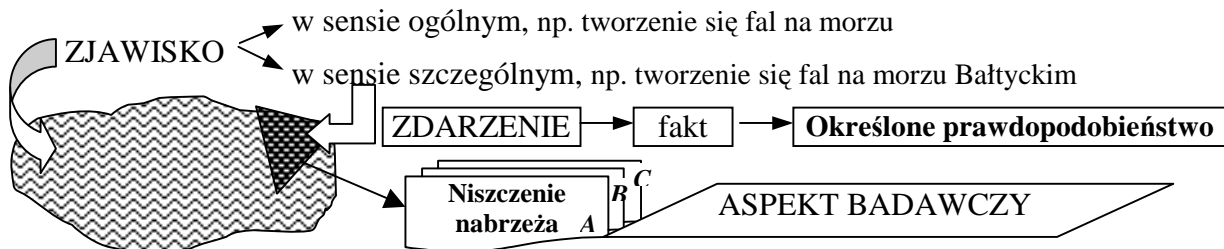


Schemat procesu poznawczego w technice

Prawidłowość jest własnością zjawisk empirycznych. Występowanie w nich określonych prawidłowości jest całkiem niezależne od tego, czy wiemy o tym (1), potrafimy to zmierzyć (2), opisać przebieg tych procesów w ramach odpowiedniej teorii (3) oraz ująć w odpowiednie funkcje (4). Formalizacja matematyczna umożliwia automatyzację pomiaru za pomocą komputerów.



Przez dziedzinę teorii empirycznej rozumieć należy dowolne całkiem zjawisko w sensie szczegółowym, należące do zjawisk badanych w obrębie określonej teorii.



Koncepcja badań przesądza zawsze wybór pewnego aspektu, w jakim dane zdarzenie będzie badane. Nie badamy więc zjawiska lub zdarzenia w całej jego złożoności, tylko w określonym aspekcie. Należy zapamiętać, że zjawisko Z badane w aspekcie A i zjawisko Z badane w aspekcie B , to dwa różne zjawiska, chyba że aspekt A jest tym samym, co aspekt B . Wybór koncepcji badań staje się zatem określeniem aspektu, który chcemy poznać, zbadać i opisać określonymi funkcjami.

Jeżeli przyjmiemy, że terminy $F_1 \dots F_n$ są symbolami: cech, relacji (ogólnie zmiennych), za pomocą których na gruncie danego modelu fizycznego (teorii empirycznej) bada się zjawiska należące do danej teorii, to każdą z dziedzin teorii można sobie wyobrazić jako układ empiryczny postaci:

$$(1) \quad X^p (x^p F_1^p \dots F_2^p) \quad p - \text{jeden przypadek, inny przypadek, np. } q$$

Zmienna F_i odniesiona do przypadku p i zmienna F_i , odniesiona do przypadku q to dwie różne „konkretyzacje”, tej samej zmiennej, np. dobowy wykres temperatury ciała dla pacjenta A i dla pacjenta B , to nie to samo, chociaż w obu przypadkach chodzi o temperaturę ciała.

Zagadnienia pomiarów jako szczególnie istotne w technice, omawiane są szczegółowo w ramach przedmiotów: metrologia oraz miernictwo i systemy pomiarowe.

Miernictwo jest techniką wartościowania naszych spostrzeżeń świata materialnego, metrologia natomiast jest nauką o zasadach tego wartościowania.

18. 2. Elementarne zagadnienia pomiaru

Zasadniczym celem pomiaru jest odwzorowanie właściwości fizycznych za pomocą liczb.

Formalna teoria pomiaru obejmuje 4 zasadnicze elementy:

- **empiryczny system relacyjny odpowiadający właściwości** (jakości),
- **liczbowy system relacyjny** (jednostki miar i układ jednostek),
- **warunki reprezentatywności** (związek między właściwościami a liczbami),
- **warunki jednoznaczności odwzorowania** (niepewność pomiaru).

Występujące wielkości dotyczące ciał (przedmiotów) lub zjawisk (procesów), które można poddać pomiarom, to właściwości tych ciał lub zjawisk w sensie jakościowym lub ilościowym, np.: długość, masa, prędkość, temperatura, smak, ból, radość. W technice najczęściej stosowane są pomiary: długości i kątów, nierówności powierzchni, odchyłek kształtu i położenia, gwintów i kół zębatych. Jeżeli poszczególne stany danej wielkości mogą być oceniane i porównywane między sobą zarówno jakościowo, jak i ilościowo, to taką wielkość nazywa się fizyczną, np. długość, masa, temperatura. Określony stan (realizację) danej wielkości fizycznej (np. długość odcinka, masa ciała), w odróżnieniu od tej wielkości fizycznej w sensie ogólnym, nazywa się wartością liczbową tej wielkości i wyraża się iloczynem liczby przez jednostkę miary, np. $l = 15 \text{ cm}$, $m = 4 \text{ kg}$. Wielkości, których wartości można ująć liczbowo nazywamy mierzalnymi, pozostałe ujmowane tylko jakościowo – niemierzalnymi (np. ból, radość, jakość).

Wielkości, które mogą być poddawane pomiarom, dzieli się z na podstawowe i pochodne.

- **podstawowe** – te, z którymi człowiek się najczęściej spotyka i które przez wszystkich są rozumiane jednoznacznie bez zastrzeżeń. Dodatkowym warunkiem jest ich wzajemna niezależność. Przy pomiarach geometrycznych i mechanicznych podstawowymi wielkościami są: długość, czas i masa.
- **pochodne** – wymagające definiowania, wyrażane przez układ (wzór matematyczny) wielkości podstawowych, np. prędkość, przyspieszenie (prędkość to stosunek długości do czasu).

Pierwszym rezultatem pomiaru jest **surowy wynik pomiaru**, który nie został jeszcze skorygowany przez dodanie poprawek i nie ma jeszcze wyznaczonego obszaru niepewności pomiaru. Wymaga więc opracowania przez eliminację błędów systematycznych i podania niepewności pomiaru. Wynik podaje się w postaci: $x \pm \varepsilon$ (x – wynik pomiaru z błędami systematycznymi, ε – niepewność pomiaru). Prawdziwa wartość x_{rz} zawarta jest więc w przedziale: $x - \varepsilon \leq x_{rz} \leq x + \varepsilon$.

Układ SI

Układ SI – układ jednostek podstawowych, przyjęty w 1980 r. jako Międzynarodowy Układ Jednostek Miar. Umożliwia łatwe tworzenie jednostek pochodnych i ich krotności.

- **jednostki podstawowe:** jednostka długości – metr [m], masy – kilogram [kg], czasu – sekunda [s], prądu – amper [A] temperatury – kelwin [K], światłości – kandela [cd], liczebności materii – [mol].
- **jednostki uzupełniające:** kąt płaski – radian [rad], kąt bryłowy – steradian [sr].

Każda z tych jednostek jest ściśle zdefiniowana i dla każdej przewidziano odpowiedni wzorec.

W zależności od sensu fizycznego pomiaru rozróżnia się 4 grupy metod:

- **Bezpośrednia;** wartość wielkości mierzonej otrzymywana jest bezpośrednio na podstawie obserwacji, bez potrzeby wykonywania obliczeń uzupełniających, wynikających z zależności funkcyjnej wielkości mierzonej od innych wielkości. (np. pomiar suwmiarką).
- **Pośrednia;** wartość mierzonej wielkości otrzymuje się na podstawie pomiarów bezpośrednich innych wielkości, związanych z wielkością mierzoną określoną zależnością funkcyjną. Obliczenia prowadzące do wyniku są wykonywane przez człowieka na zewnątrz systemu pomiarowego.
- **Podstawowa;** wartość wielkości mierzonej otrzymuje się przez pomiar wielkości wchodzących w definicję wielkości mierzonej. Metoda podstawowa jest metodą pośrednią, np. pomiar przyspieszenia ziemskiego przez pomiar wysokości i czasu swobodnego spadania ciała.
- **Porównawcza;** wartość wielkości mierzonej otrzymuje się przez porównanie z inną wartością tej samej wielkości (np. pomiar temperatury ciała ludzkiego) lub też ze znaną wartością innej wielkości jako funkcji mierzonej (oceny porównania wyniku dokonuje człowiek lub automat).

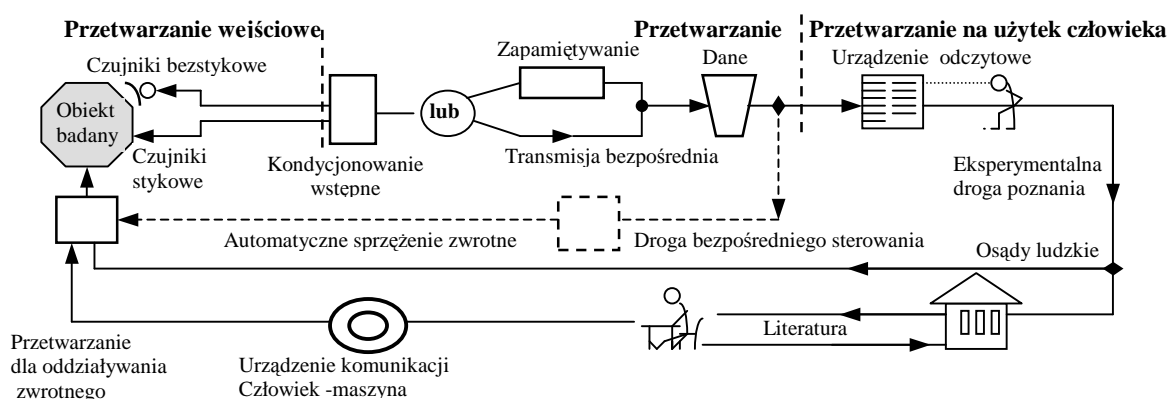
„Jeżeli nie możesz czegoś wyrazić liczbą – nic o ty mnie wiesz”. (Lord Kelvin)

18. 3. Miernictwo przemysłowe

Miernictwo przemysłowe – to dział metrologii stosowanej, zajmujący się pomiarami wykonywanymi w zakładach przemysłowych, dostarczającymi informacji niezbędnych do właściwego prowadzenia procesu produkcyjnego i do oceny wyrobów.

Pomiar polega na porównaniu danej wielkości z inną, której wartość przyjęta jest jako wzorzec. W pewnych przypadkach stanowi to cel ostateczny. Rzadko kiedy można traktować przyrząd pomiarowy jako urządzenie wykonane samo dla siebie. Niezbędna jest zawsze znajomość celu pomiaru, np. w technice bardzo często sygnał pomiarowy jest wykorzystywany do ciągłego sterowania procesów.

Pomiar przemysłowy powinien trwać stosunkowo krótko, jego wykonanie nie powinno przerywać procesu produkcyjnego, a wyniki pomiaru powinny być formułowane w sposób praktycznie ciągły. Często wymaga się, aby wynik pomiaru przemysłowego miał postać umożliwiającą wykorzystanie go do automatyzacji sterowania procesem produkcyjnym (zobacz rysunek poniżej).



Graficzny obraz miejsca pomiaru na tle ogólnego systemu

Cechą charakterystyczną miernictwa przemysłowego jest konieczność równoczesnego wykonywania wielu pomiarów połączonych z rejestracją ich wyników, co prowadzi do coraz powszechniejszego stosowania **systemów pomiarowych**. Na szybki rozwój technik miernictwa pomiarowego w XX w. decydujący wpływ miały elektronika i mikroelektronika, a w ostatnich 20 latach technika informatyczna.

Każdą postać energii czy zjawiska, w określony sposób odtwarzającą mierzoną wielkość, można uważać za **sygnał pomiarowy**. Pojęcie to praktycznie zawęża się jednak do takich postaci energii, które są dogodne do przenoszenia i wykorzystania. Najczęściej jest to sygnał elektryczny lub pneumatyczny. Wytworzony np. w ruchomym obiekcie sygnał pomiarowy może mieć różną postać, np. drgania wibroakustyczne, które przez zastosowanie przetwornika piezoelektrycznego zostają zamienione na sygnał elektryczny.

Ze względu na **współdziałanie elementów układów pomiarowych i automatyki** często rezygnuje się z wyznaczania wartości liczbowej wielkości i kontroluje się tylko, czy mieści się ona w określonym przedziale lub nie przekracza zadanej wartości. Sygnał w postaci niejawnej (prąd, napięcie, częstotliwość, ciśnienie) doprowadza się do komputera, którego zadaniem jest optymalne wykorzystanie otrzymanej informacji.

Niezależnie od doboru samego przetwarzania wielkości mierzonej najważniejszą sprawą jest dobranie metody i układu pomiaru. Decyzja, co do wyboru zależy od wielu czynników, takich jak: wymagana dokładność i postać informacji, rodzaju i charakteru wielkości mierzonej, warunków otoczenia i kosztów.

Wielkość mierzona porównuje się przeważnie z odpowiednią wielkością wzorcową wg jednej z 3 metod:

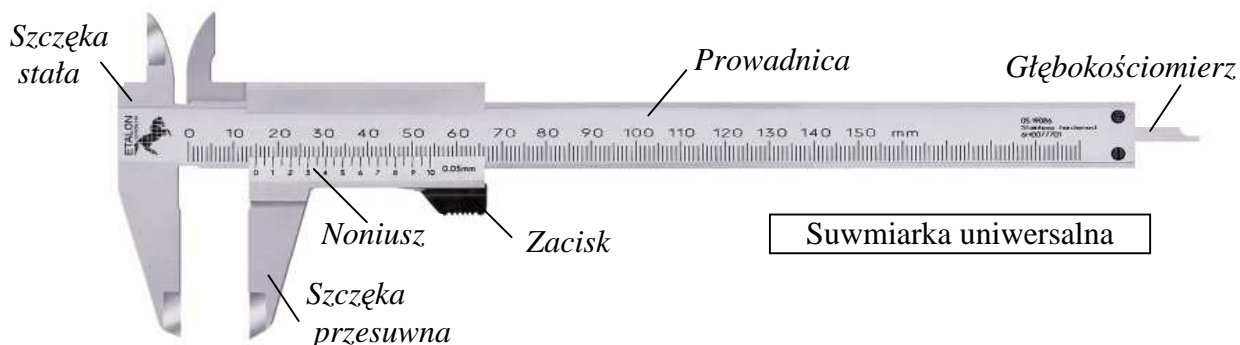
- **Metoda wychyłowa;** polega na przyporządkowaniu określonej wartości mierzonej wielkości x sygnałowi wyjściowemu miernika, który wraz z przetwornikiem i układem pomiarowym był wcześniej wzorcowany w stosunku do wzorców mierzonej wielkości. Metodę tę zapisujemy $y = f(x)$, gdzie: x – wielkość mierzona (wejściowa), y – sygnał pomiarowy.
- **Metoda różnicowa;** polega na wytworzeniu różnicy między wielkością mierzoną a wzorcową (porównawczą) oraz na pomiarze tej różnicy metodą wychyłową. Metodę tę można zapisać zależnością $y = f(x - x_n)$, przy czym x_n oznacza wartość miary wzorca.
- **Metoda zerowa;** polega na doprowadzeniu wielkości wzorcowej do równości z wielkością mierzoną. Zapis tej metody: $x = x_n \pm \delta$, gdzie δ - nieczułość urządzenia.

Miary są zwięzłą formą opisu. Pojedyncza liczba mówi to, co wyrażałoby wiele słów.

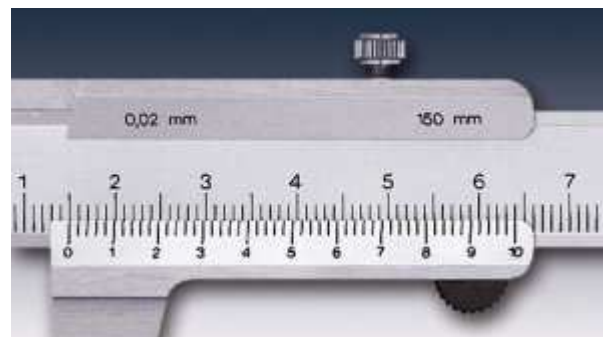
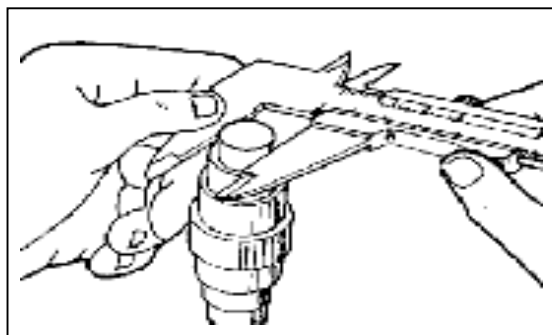
18. 4. Budowa i charakterystyka suwmiarek

Suwmiarki jako narzędzia pomiarowe stosowane są już od XVII w. Pierwsza suwmiarka z noniusem (specjalna podziałka, na szczękach ruchomych) została zbudowana w Anglii (1790 r.) Suwmiarki te wykonane były z drewna lub z mosiądzu.

Dzisiejszą suwmiarką nazywamy przyrząd pomiarowy, przystosowany do pomiaru wymiarów zewnętrznych i wewnętrznych, a gdy ma wysuwkę głębokościomierza – również do pomiaru głębokości. Suwmiarka uniwersalna (noniuszowa) składa się z prowadnicy stalowej z podziałką milimetrową, zakończonej dwiema szczękami nieruchomymi. Po prowadnicy przesuwają się dwie szczęki przesuwne (krótszą – górną i dłuższą – dolną), odpowiadające szczękom stałym. Na suwaku znajduje się specjalna podziałka (noniusz) o długości 9; 19 lub 49 mm. Suwak jest wyposażony w dźwignię zacisku, za pomocą której ustala się położenie suwaka.

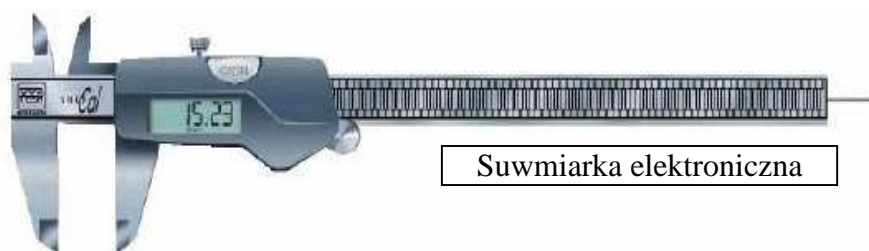


Suwmiarką uniwersalną można mierzyć z dokładnością do 0,1 (na noniuzie 9 mm podzielono na 10 równych części). Obecnie jednak znacznie częściej używa się suwmiarek z dokładnością pomiaru 0,05 i 0,02 mm. Te suwmiarki różnią się nacięciami noniusza: w pierwszym przypadku 19 mm podzielono na 20 części, a w drugim 49 mm podzielono na 50 równych części.



Wynik: $14 + 0,9 + 0,08 + 14,98 \text{ mm}$

Pomiar suwmiarką (rys): suwak odsuwamy w prawo i między rozsunięte szczęki wkładamy mierzony przedmiot, następnie dosuwamy suwak tak, aby płaszczyzny stykowe szczęk zetknęły się z krawędzią przedmiotu. Teraz odczytujemy, ile całych działek prowadnicy odcina zerowa kreska noniusza, co odpowiada mierzonemu wymiarowi w milimetrach. Następnie odczytujemy, która kreska noniusza znajduje się na przedłużeniu kreski podziałki prowadnicy (kreska noniusza wskazuje dziesiąte lub setne części milimetra). Znacznie łatwiejszy jest odczyt na suwmiarce elektronicznej.



Suwmiarka elektroniczna

18. 5. Budowa i charakterystyka mikrometrów

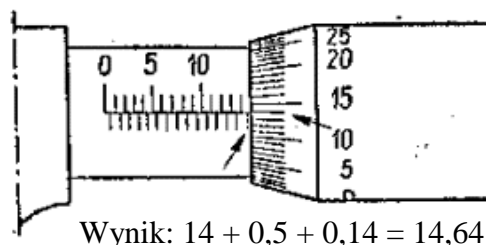
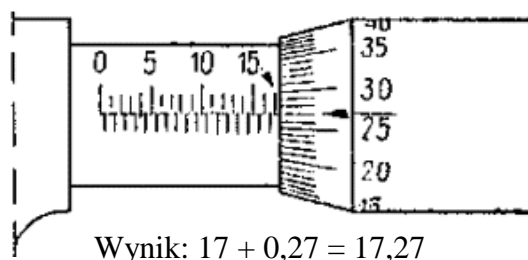
Mikrometr zewnętrzny służy do pomiaru długości, grubości i średnicy z dokładnością do 0,01 mm. Mikrometr składa się z kabłąka, którego jeden koniec zakończony jest kowadełkiem, a drugi nieruchomą tuleją z podziałką wzdłużną i obrotowym bębnem, z podziałką poprzeczną. Oprócz tego mikrometr jest wyposażony we wrzeciono, zacisk ustalający oraz pokrętkę sprzęgła ciernego.



Wrzeciono ma nacięty gwint o skoku 0,5 mm i jest wkręcone w nakrętkę zamocowaną wewnątrz nieruchomej tulei z podziałką wzdłużną. Obracając bęben wysuwamy lub cofamy wrzeciono. Sprzęgło cierne z pokrętką służy do tego, aby dokonać właściwego pomiaru i uniknąć uszkodzenia gwintu przez zbyt mocne dociśnięcie wrzeciona do powierzchni przedmiotu. Obracając pokrętką sprzęgła ciernego, obracamy wrzeciono do chwili zetknięcia go z mierzonym przedmiotem lub kowadełkiem, po czym sprzęgło ślizga się i nie przesuwają dalej wrzeciona.



Położenie wrzeciona ustalamy za pomocą sprzęgiełka. Nieruchoma tuleja z podziałką wyposażona jest w kreskę wskaźnikową wzdłużną, na którą jest naniesiona podziałka milimetrowa. Pod kreską wskaźnikową są naniesione kreski, które dzielą na połowy podziałkę milimetrową (górną). Na powierzchni bębna jest nacięta podziałka obrotowa poprzeczna dzieląca obwód bębna na 50 równych części. Skok gwintu wrzeciona (inaczej śruby mikrometrycznej) wynosi 0,5 mm. Pełen obrót bębna powoduje przesunięcie wrzeciona o 0,5 mm. Obrócenie więc bębna o jedną działkę podziałki poprzecznej powoduje przesunięcie wrzeciona o 0,01 mm.



Wartość mierzonej wielkości określa się najpierw odczytując na podziałce wzdłużnej liczbę pełnych milimetrów i połówek milimetrów odsłoniętych przez brzeg bębna, a następnie odczytujemy setne części milimetra na podziałce bębna patrząc, która działka na obwodzie bębna odpowiada wzdłużnej kresce wskaźnikowej tulei.

Mikrometry są wykonywane w różnych wielkościach o zakresach pomiarowych 0 - 25 mm, 25 - 50 mm, 50 - 75 mm i tak dalej co 25 mm do 1000 mm oraz do różnych zastosowań.