

GRZEGORZ BORUTA

WPROWADZENIE DO METROLOGII

PRZYZRZĄDY POMIAROWE

Wykonując pomiar uzyskuje się pewien symbol – liczbę – miarę, a znając relację pomiędzy tym symbolem a mierzonym przejawem badanej właściwości badanego obiektu lub zdarzenia uzyskuje się informację o tej właściwości, czyli i o samym obiekcie lub zdarzeniu.

Maszyny informacyjne – klasa urządzeń, które pobierają, przetwarzają, gromadzą i prezentują informacje: przyrządy pomiarowe, komputery, systemy i urządzenia komunikacyjne oraz układy regulacyjne.

Nośnikiem informacji jest przepływ energii lub masy.

Symbolami przenoszącymi informacje w maszynach informacyjnych mogą być wartości chwilowe pewnych wielkości fizycznych lub pewne parametry czasowej zmienności tych wielkości fizycznych.

Sygnał – wielkość fizyczna, której wartość lub czasowa zmienność przenosi informację.

Sygnał jest nośnikiem informacji lub inaczej zawiera informację.

Maszyna informacyjna działa przetwarzając wejściowy sygnał fizyczny w wyjściowy sygnał fizyczny, co często wpływa również na samą informację w nich zawartą.

Oba te sygnały niosą informacje, przy czym sygnał wyjściowy w stosunku do sygnału wejściowego jest przetworzony zgodnie z potrzebami systemu pomiarowego i warunkami jego pracy.

Sygnały mogą mieć postać zmian energii elektrycznej, parametrów promieniowania elektromagnetycznego, ciśnienia płynu czy ruchu mechanicznego.

Większość sygnałów ma charakter procesu ciągłego, dostarczającego informacji o zmianach wartości mierzonej wielkości w czasie. Ten ciągły w czasie zapis sygnału nazywa się **przebiegiem czasowym** sygnału. Wyróżnia się m.in. sygnały o przebiegu:

- stałym w czasie – cechą niosącą informację jest poziom sygnału,
- sinusoidalnym w czasie – cechami niosącymi informację są amplituda, częstotliwość i faza sygnału,
- impulsowym – cechami niosącymi informację są amplituda, częstotliwość (dla sygnałów okresowych), położenie (faza), czas trwania i wypełnienie impulsów.

Szum – sygnał nieniosący informacji użytecznej lub pożądanej. Nadmierny szum może zniekształcić prawdziwy, pożądany sygnał poprzez wprowadzanie informacji fałszywych.

Przyrząd – element transmitujący sygnał masowy lub energetyczny.

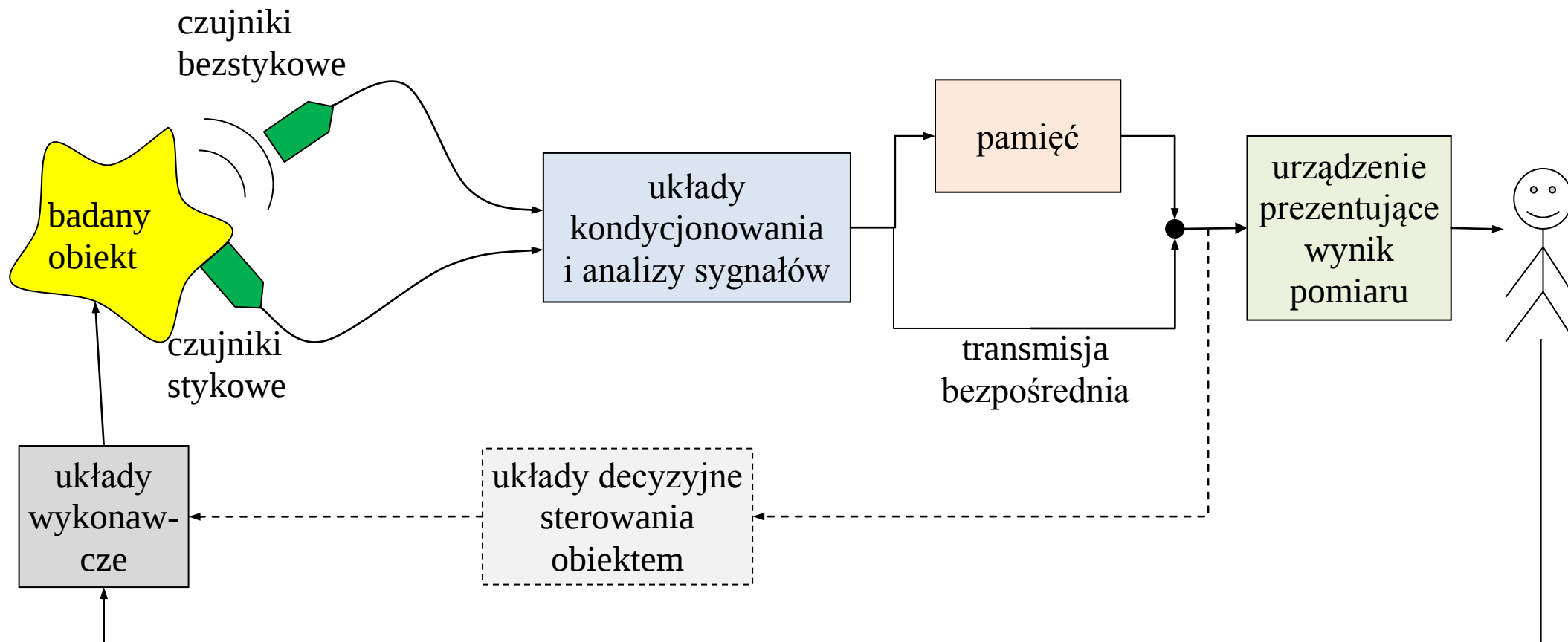
Przyrząd pomiarowy – przyrząd stosowany w celu pozyskania informacji o świecie.

Zadaniem przyrządu pomiarowego jest przetworzenie cech świata fizycznego na informację w postaci optymalnie przystosowanej do właściwości i możliwości recepcyjnych odbiornika.

Informacja pomiarowa jest zawarta w **sygnale pomiarowym**, który składa się z:

- nośnika – wielkości fizycznej opisującej procesy energetyczne przenoszące informację,
- parametru informacji – funkcji określonej na nośniku, której wartości zawierają informację pomiarową.

Struktura przyrządu pomiarowego i sposób jego wykorzystania



Czujnik zamienia strumień energii lub masy z badanego obiektu na strumień energii lub masy sygnału pomiarowego.

Wykorzystywany strumień energii i masy może być czerpany:

- bezpośrednio z badanego obiektu przez czujnik stykowy,
- z otoczenia badanego obiektu przez czujnik bezstykowy.

Funkcje czujnika:

- wydobyć informacji z badanego obiektu i jej odfiltrowanie, polegające na wydzieleniu pożądanej informacji o badanej właściwości spośród całej informacji o badanym obiekcie (o wszystkich jego właściwościach),
- zakodowanie pozyskanej informacji w przyjętym sygnale pomiarowym, który przeniesie ją dalej, do kolejnych bloków – elementów układu pomiarowego.

Czujnik – ogniwo łączące badany obiekt z układem pomiarowym i kierujące do tego układu strumień masy i energii zawierający zakodowaną informację o badanym obiekcie.

Akt mierzenia, zwłaszcza czujnikiem stykowym, powoduje zakłócenia pierwotnych warunków równowagi energii i masy w obiekcie mierzonym i jego otoczeniu – należy budować układy pomiarowe umożliwiające prawidłowy pomiar i jednocześnie wnoszące pomijalnie małe zakłócenia do pracy badanego obiektu w swoim środowisku.

Czujnik nie powinien przejmować innych niż mierzone, zbędnych informacji ani generować dodatkowych, przypadkowych danych (szumu), które przez kolejne elementy toru pomiarowego mogłyby być interpretowane jako sygnał użyteczny.

Kolejne elementy układu pomiarowego, czyli układy:

- kondycjonowania sygnału (filtry, wzmacniacze, korelatory, multipleksery itp.),
 - układy magazynujące dane (pamięci stałe, ulotne itp.),
 - układy prezentujące dane (wskaźniki wychyłowe lub słupkowe, wyświetlacze cyfrowe lub symboliczne, lampki kontrolne, drukarki, generatory dźwięku i drgań itp.),
- konstruuje się w zasadzie tylko pod kątem użyteczności sygnału dla operatora (mierniczego).

Przetwornik (converter) – element, który wykorzystując określone zjawisko fizyczne, przetwarza energię badanego zjawiska w energię wyjściową.

Wyróżnia się:

- **przetworniki energii,**
- **przetworniki informacji, danych lub sygnałów.**

Stany wejścia i wyjścia **przetwornika energii** opisuje się zwykle pojedynczymi wielkościami typu moc lub energia, lub parami wielkości sprzężonych, których iloczyn ma sens mocy lub energii, np. natężeniem prądu i napięciem elektrycznym lub siłą i prędkością.

Działanie przetwornika energii polega **na zamianie rodzaju energii** – energia na wejściu przetwornika różni się od energii na jego wyjściu, np.:

- mikrofon przetwarza zmiany ciśnienia (energię przepływu masy) w energię elektryczną,
- termoogniwo przetwarza temperaturę (energię ruchu cząsteczek) w energię elektryczną,
- fotoogniwo przetwarza energię promieniowania elektromagnetycznego w energię elektryczną,
- silnik elektryczny przetwarza energię elektryczną w energię mechaniczną,
- dioda świecąca przetwarza energię elektryczną w energię promieniowania elektromagnetycznego,

lub na zmianie przebiegu czasowego wartości wielkości opisujących wejścia i wyjścia **z zachowaniem rodzaju energii**, np. przekładnia mechaniczna, transformator, prostownik, wzmacniacz mocy.

Działanie **przetwornika informacji** polega na zmianie charakteru informacji – zmianie sposobu zakodowania informacji w sygnale, lub na wykonaniu na tych informacjach określonych operacji.

Przetwornik informacji jest także przetwornikiem energii – nośnik sygnału wejściowego przetwarza w sensie energetycznym w nośnik sygnału wyjściowego. Jednak w tym przypadku przetwarzanie energii jest mniej istotne wobec przetwarzania informacji (danych) zawartej w tym nośniku.

Przetworniki informacji mogą być:

- **analogowe** (sygnały analogowe na wejściu i wyjściu),
- **analogowo-cyfrowe** (sygnał analogowy na wejściu i cyfrowy na wyjściu),
- **cyfrowo-analogowe** (sygnał cyfrowy na wejściu i analogowy na wyjściu),
- **cyfrowe** (sygnały cyfrowe na wejściu i wyjściu).

Sygnał analogowy – w dowolnej chwili czasu może zmienić swoją wartość na dowolną z zakresu swojej zmienności.

Sygnał cyfrowy – może zmieniać swoją wartość tylko w określonych chwilach czasu i tylko na określoną wartość (sygnał binarny ma dwie takie wartości). Cyfrowa postać informacji jest efektem próbkowania, kwantowania i kodowania informacji analogowej.

Przetwornik pomiarowy – przetwornik informacji przetwarzający dane pomiarowe.

Przetwornik wartościowy lub naturalny (transducer) – przetwornik niemodulowanego sygnału analogowego (wartościowego, naturalnego) w sygnał również niemodulowany, w których informacją jest wartość chwilowa nośnika (przedmiotem zainteresowania badacza jest wartość chwilowa sygnału).

Czujnik (sensor) – przetwornik zaprojektowany i wykorzystywany jako przetwornik pomiarowy do pobierania informacji z badanego obiektu.

Największe zastosowanie znalazły czujniki, w których wielkości wyjściowe są typu elektrycznego – czujniki te są elementami obwodu elektrycznego – dwójnikami, trójnikami lub czwórnkami o wielkościach wyjściowych lub parametrach zależnych od czynnika działającego na czujnik.

Czujniki elektryczne, zależnie od **przetwarzanej wielkości wejściowej** (czynnika wymuszającego), dzieli się na:

- **elektromagnetoelektryczne**, przekształcające wielkości elektryczne i magnetyczne: ładunek, napięcie i prąd elektryczny, impedancję elementu elektronicznego (związaną z jego rezystancją jako opornika, pojemnością jako kondensatora i indukcyjnością jako cewki), moc i energię elektryczną, natężenie strumienia magnetycznego i indukcję pola magnetycznego,
- **mechanoelektryczne**, przekształcające wielkości mechaniczne: przesunięcie, prędkość i przyspieszenie w ruchu postępowym i obrotowym, siłę i moment siły, prędkość przepływu i ciśnienie płynów,
- **fotoelektryczne**, przekształcające natężenie oświetlenia promieniowaniem elektromagnetycznym,
- **termoelektryczne**, przekształcające temperaturę,
- **chemoelektryczne**, przekształcające wielkości opisujące zjawiska chemiczne, np. stężenie jonów.

Czujniki elektryczne, zależnie od **wielkości wyjściowej**, dzieli się na:

- **generacyjne** – wielkościami wyjściowymi są napięcie elektryczne (lub siła elektromotoryczna) i natężenie prądu elektrycznego generowanego w tych czujnikach, czasem tylko generowany ładunek elektryczny; w obwodzie elektrycznym układu pomiarowego są źródłem napięciowym lub prądowym,
- **parametryczne: rezystancyjne, indukcyjne i pojemnościowe**, w których zmienia się odpowiednio rezystancja, indukcyjność i pojemność czujnika jako elementu obwodu elektrycznego zasilanego z zewnątrz (od innych elementów toru pomiarowego); w obwodzie elektrycznym układu pomiarowego są odpowiednio opornikiem, cewką lub kondensatorem.

Kondycjonowanie sygnału pomiarowego – operacje pozwalające na dopasowanie sygnału z czujnika do wejścia kolejnego stopnia układu pomiarowego. Typowe operacje:

- **przetwarzanie skali** (jednokowe przetwarzanie wszystkich wartości sygnału) – proporcjonalne zwiększenie (wzmocnienie) lub zmniejszenie (tłumienie) wszystkich wartości sygnału z zachowaniem rodzaju przesyłanej (przetwarzanej, kondycjonowanej) energii i kształtu przebiegu czasowego i częstotliwościowego sygnału; jest stosowane:
 - przy adjustacji czujnika, aby wartość wskazywana przez przyrząd pomiarowy odpowiadała mierzonej wartości wzorca.
 - gdy zakres zmienności sygnału wyjściowego z jakiegoś stopnia toru pomiarowego nie zgadza się z zakresem zmienności sygnału wejściowego do następnego stopnia toru pomiarowego;
- **przetwarzanie kształtu** (przetwarzanie wybranych wartości sygnału) – celowa zmiana kształtu przebiegu czasowego sygnału z zachowaniem rodzaju przesyłanej (przetwarzanej, kondycjonowanej) energii poprzez:
 - tłumienie jego wybranych fragmentów (czasowe **bramkowanie**),
 - zmianę rozkładu widmowego (**filtrację** częstotliwościową, ograniczanie szumu, wzmacnianie składowych sygnału o pewnych częstotliwościach),
 - **modulację** sygnału (amplitudową lub częstotliwościową),
- **przetwarzanie natury** (przetwarzanie wielkości) – przetwarzanie sygnału wejściowego w sygnał wyjściowy o innej naturze energetycznej, stosowane gdy przetwornik formuje sygnał niekompatybilny z wejściem następnego elementu układu pomiarowego (np. przy stosowaniu światłowodów do transmisji danych pomiędzy urządzeniami elektronicznymi).

Między poszczególnymi elementami układu pomiarowego niezbędne są połączenia, którymi przepływają (są **transmitowane**) sygnały pomiarowe.

Długość tych połączeń zawiera się w granicach od μm (połączenia elementów w układach scalonych) do milionów kilometrów (zdalne pomiary w kosmosie).

Kanał transmisyjny powinien przekazywać dostatecznie dużo danych dostatecznie szybko i bez zanikania i zniekształcania sygnału.

Komutator – urządzenie przełączające sygnały na odpowiednie kanały (tory) układu pomiarowego.

Multiplekser – komutator przyłączający pewną liczbę kanałów do jednej wspólnej linii transmisyjnej lub do wspólnej pamięci.

Selektor lub **demultiplekser** lub **dystrybutor** – komutator wysyłający sygnały z jednego miejsca do wielu odbiorników.

Tor transmisyjny powinien tworzyć właściwy **styk (interface)** między nadajnikiem i odbiornikiem sygnału, aby nie występowały niepożądane zjawiska (nadmierne straty energii sygnału lub pojawianie się sygnałów odbitych).

Sygnały pomiarowe zawierają informacje, które trzeba zgromadzić do bezpośredniego wykorzystania oraz zachować (zapamiętać) do wykorzystania w przyszłości. Gromadzenie danych przyjmuje różne formy. Można je podzielić na pamięci:

- stałe (przerwy w zasilaniu lub awarie urządzenia rejestrującego nie powodują zniszczenia (utruty) danych),
- ulotne (przerwy w zasilaniu powodują zniszczenie (utratę) danych).

Urządzenia do gromadzenia danych nazywane są **pamięciami**, **bankami danych** lub **rejestracjami**.

Elektronicznymi nośnikami danych są dyski magnetyczne lub optyczne oraz pamięci półprzewodnikowe.

Dane można też gromadzić w postaci wydruków (papierowej).

Ostateczny wynik pomiaru (czasem także wyniki pośrednie) musi być emitowany przez układ pomiarowy w formie możliwej do odbioru przez człowieka za pomocą jego zmysłów.

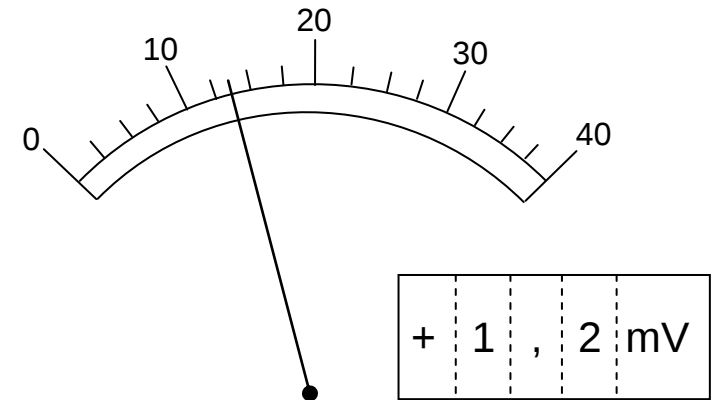
Najczęściej informacje pomiarowe dostarczane są człowiekowi poprzez zmysł **wzroku** (stąd mówi się o ich „**wizualizacji**” przez urządzenie „**odczytowe**”). Służą temu wszelkiego typu wyświetlacze i drukarki: oscyloskopy, monitory, wskaźniki wychyłowe, paskowe lub alfanumeryczne, lampki kontrolne, drukarki, plotery, pisaki itp.

Czasem wykorzystuje się też zmysł **słuchu** (elementy generujące dźwięki: głośniki, bipery, generatory mowy itp.) i **dotyku** (elementy generujące drgania: wibratory itp.).

Ważne jest, aby wynik pomiaru był przedstawiony w sposób wyraźny (dla wzroku – czytelny), zrozumiały i jednoznaczny, tak aby zminimalizować możliwość błędnego odczytu i interpretacji wyniku.

Urządzenia prezentujące wynik pomiaru:

- sygnalizatory – najprostsze emitery świetlne, dźwiękowe lub wibracyjne, przekazujące informacje typu ostrzeżenia, alarmu, przekroczenia zadanego poziomu itp.,
- wskaźniki:
 - analogowe, np. wskazówkowe – odczyt po jednoznacznym umiejscowieniu wskazówki na skali, gdzie nie wszystkie kreski są opisane – trudny, gdy wskazówka znajduje się między kreskami,
 - alfanumeryczne, do przekazywania krótkich informacji liczbowych i tekstowych – odczyt jednoznaczny od razu,
- urządzenia pokazujące tekst i obraz, np. lampy oscyloskopowe i monitory komputerowe, monochromatyczne i kolorowe,
- rejestratory analogowe i cyfrowe do ciągłego zapisu wyników pomiaru (pisaki na papierach rozwijanych z rolek, plotery, pamięci cyfrowe stałe i ulotne),
- urządzenia do archiwizacji wyników pomiarów i protokołów z badań (drukarki, też komputerowe, pamięci stałe).



W sytuacjach, gdy istotne są tendencje zmian mierzonej wielkości (np. prędkości jazdy samochodem) najlepsze wydają się wskaźniki analogowe wskazówkowe, bo ruch wskazówki informuje dodatkowo o kierunku zmian (o przyspieszaniu lub zwalnianiu).

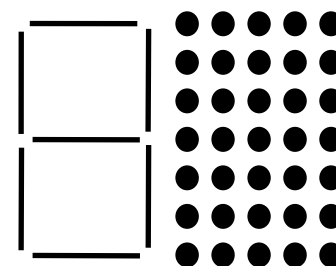
Wskaźniki alfanumeryczne mogą wyświetlać cyfry od 0 do 9, litery od A do Z, przecinki lub kropki i znaki „+” i „-”.

Kiedyś – zestawy żarówek, w których jedna za drugą znajdowały się włókna żarowe ukształtowane na początku wyświetlacza w „+” i „-” (pierwsza żarówka), a na każdej pozycji liczbowej w cyfry od 0 do 9 z żarówkami świecącymi przecinki pomiędzy nimi, pojedynczo zaświecane przez układ sterujący

Do najczęściej wykorzystywanych obecnie należą wskaźniki:

- LED (*light emitting diode*) – diody, które spolaryzowane w kierunku przewodzenia są źródłem światła o barwie od zielonej do czerwonej; są bardzo szybkie i trwałe, małe, ale o dużym poborze prądu,
- LCD (*liquid crystal display*) – działają na zasadzie pochłaniania światła przez polaryzator i ciekły kryształ o strukturze porządkowanej przez pole elektryczne; są to w zasadzie płaskie kondensatory, których elektrody i dielektryk (ciekły kryształ) są przezroczyste, jeżeli do elektrod nie jest doprowadzanie napięcie; są dość wolne (potrzebują czasu na obrócenie się cząsteczek ciekłego kryształu), mogą być duże (mieć rozmiary monitorów), mają mały pobór prądu (mocy, $\sim 100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$), jednak w ciemności wymagają świecącego tła, które z reguły ma duży pobór prądu; to świecące tło może być dużą taflą wspólną dla całego wyświetlacza lub może być podzielone na mniejsze fragmenty włączane oddzielnie (przy największym rozbiciu każdy czynny element wyświetlacza ma własne źródło światła).

Standardowy wskaźnik 7-segmentowy wyświetla cyfry od 0 do 9 oraz litery A, B (nierozróżnialne z 8), C, D (nierozróżnialne z O i z 0), E, F, G, H, I (nierozróżnialne z 1), J, L, P, S (nierozróżnialne z 5), U i Z (nierozróżnialne z 2).



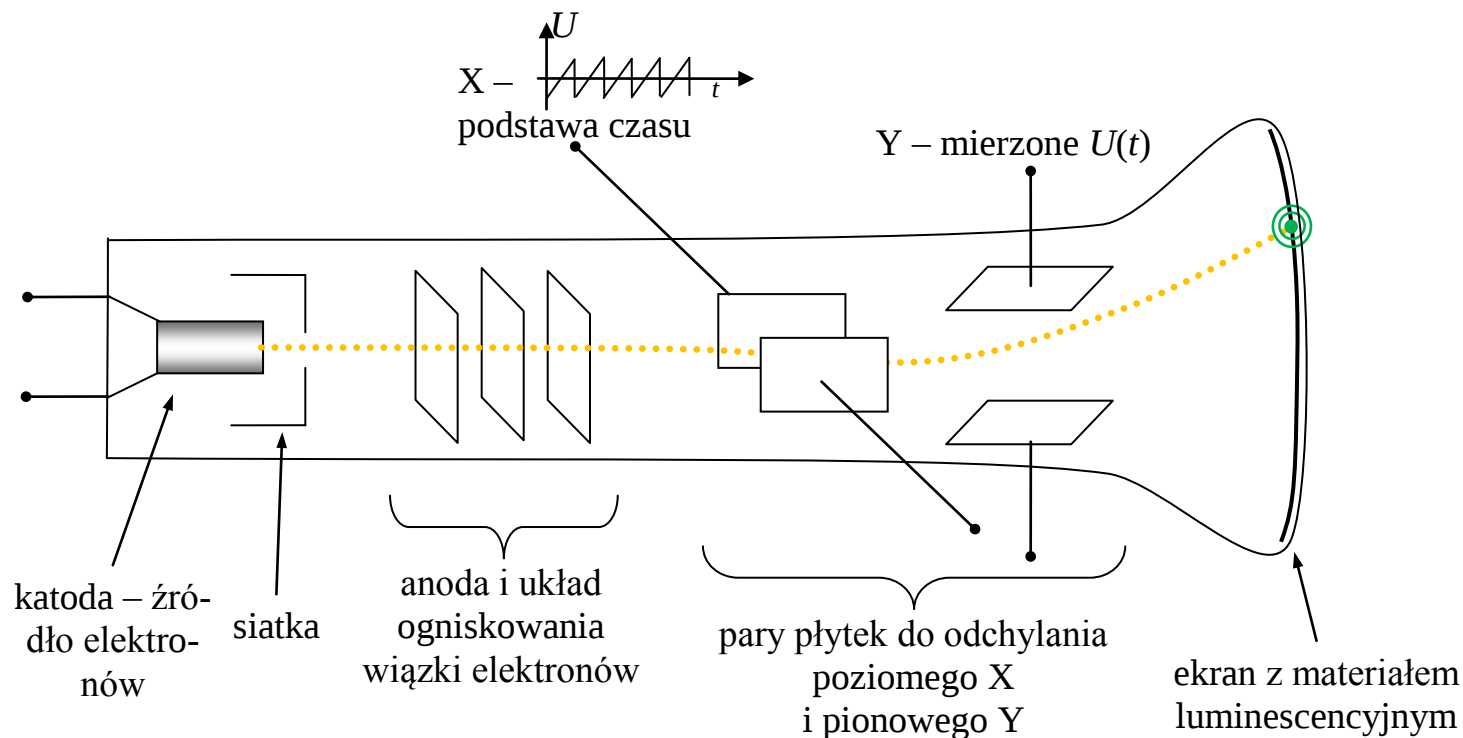
Odpowiedni standardowy wskaźnik 35 segmentowy w układzie 7×5 może jednoznacznie wyświetlić wszystkie cyfry i litery.

Liczby segmentów (pikseli) współczesnych wyświetlaczy liczone są w milionach – pozwala to na barwne wyświetlanie w zasadzie dowolnych obrazów (nie tylko cyfr i liter), a prędkość zmiany wyświetlanego obrazu bez problemu osiąga 100 na sekundę, co pozwala na osiągnięcie wrażenia płynnego ruchu wyświetlanych obrazów przy postrzeganiu ich przez ludzkie oko (ciekłokrystaliczne telewizory i monitory komputerowe).

Oscyloskopy katodowe pozwalają wyświetlić przebieg czasowy zmiennych sygnałów napięciowych.

Okres sygnału podstawy czasu to $1/(15 \div 20)$ sekundy – wynika z bezwładności ludzkiego oka (niemożliwość zarejestrowania zmian trwających krócej niż ok $1/15$ sekundy).

Czas poświaty (świecenia materiału luminescencyjnego ekranu po wzbudzeniu (oświetleniu) go wiązką elektronów), zależy od materiału luminescencyjnego i wynosi zwykle $1 \div 100 \mu s$.
Najszybsze oscyloskopy katodowe mogą przedstawić sygnał okresowy o częstotliwości do kilku GHz.



Obecnie takie klasyczne, lampowe oscyloskopy katodowe są wypierane przez o wiele tańsze oscyloskopy cyfrowe, w których badany sygnał napięciowy jest przekształcany na sygnał cyfrowy, odpowiednio cyfrowo przetwarzany, a następnie wyświetlany na ekranie ciekłokrystalicznym, działającym na identycznej zasadzie jak ciekłokrystaliczne telewizory i monitory komputerowe, ale wyglądającym jak ekran oscyloskopu klasycznego.

Procesy zachodzące w układzie pomiarowym rozpraszają energię i układ pomiarowy musi zawierać odpowiednie źródło energii (**zasilanie**).

Niektóre urządzenia (elementy toru pomiarowego) są zasilane energią nośnika informacji – jest to tzw. **zasilanie sygnałowe**, wykorzystywane np. w układach z czujnikami generacyjnymi.

Częściej występuje konieczność zasilania zewnętrznego ze specjalnie zaprojektowanych źródeł.

Postęp w technologii układów elektronicznych pozwala na przejście w elektronicznych układach pomiarowych od zasilania centralnego z pojedynczego źródła o dużej mocy do zasilania rozproszonego w układzie pomiarowym z wielu źródeł o mocy potrzebnej dla zasilania danego elementu.

Zasilanie zewnętrzne zawsze jest związane z problemami odpowiedniego rozdzielenia galwanicznego źródła zasilania od sygnału pomiarowego i eliminacji wpływu charakteru źródła na informacje pomiarowe.

Koszt zasilaczy jest znaczącą częścią kosztu całego przyrządu pomiarowego.

Przyrząd pomiarowy określają:

- nazwa, zawierająca:
 - rodzaj mierzonej wielkości (amperomierz, termometr, wilgotnościomierz),
 - zasadę pomiaru – zjawisko fizyczne wykorzystywane przy pomiarze (termometr rezystancyjny, termometr termoparowy),
- zakres pomiarowy $x_{min} \div x_{max}$ mierzonych wartości wielkości badanej x ,
- czułość – stosunek zmiany wartości sygnału wyjściowego y do wywołującej ją zmiany wartości wielkości badanej x lub jej odwrotność – stała przetwarzania: zmiana wielkości badanej x przypadająca na jednostkę wartości sygnału wyjściowego y (jednostkę skali pomiarowej),
- zdolność rozdzielcza – minimalna zmiana wartości wielkości mierzonej wywołująca obserwowalną zmianę wartości sygnału wyjściowego,
- dokładność – błąd uzyskiwanych wartości wyjściowych (np. jako klasa dokładności – stosunek maksymalnego błędu bezwzględnego przyrządu do jego zakresu pomiarowego),
- czas pomiaru, potrzebny na ustalenie się wartości wskazywanej po zmianie wartości mierzonej wielkości,
- zakres częstotliwości $f_{min} \div f_{max}$ dla przyrządów do badania zjawisk okresowych (zmiennych w czasie),
- warunki znamionowe (nominalne) pracy, określające parametry otoczenia, w jakim powinien pracować (np. temperaturę, wilgotność, ciśnienie atmosferyczne, zasilanie, pola elektryczne, magnetyczne i elektromagnetyczne, kąt pochylenia przyrządu).

Zasada pomiaru – naukowa podstawa pomiaru, w naukach przyrodniczych: zjawisko fizyczne stanowiące podstawę pomiaru.

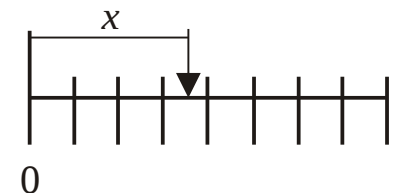
Sposób pomiaru (procedura pomiaru) – kolejność czynności niezbędnych do wykonania pomiaru.

Metoda pomiaru – sposób porównywania wartości mierzonej z wartością wzorcową. Są:

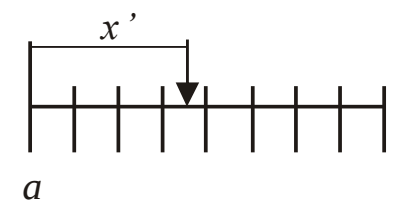
- **metody bezpośrednie** – uzyskanie wartości mierzonej wielkości bezpośrednio, bez wykonywania dodatkowych obliczeń opartych na zależnościach funkcyjnych wielkości mierzonej od innych wielkości bezpośrednio mierzonych; są:

- metody **wychyłowe** – przyrząd pomiarowy w chwili pomiaru zawiera zbiór wzorców uporządkowanych w postaci skali lub skwantowanego dyskretnego zbioru wartości możliwych do wskazania w polu odczytowym, do których porównuje się mierzone wartości – wynikiem pomiaru jest wartość wzorca wskazana przez wskazówkę lub wyświetlona w polu odczytowym; wyróżnia się:

- metodę klasyczną – skala pomiarowa – zbiór wzorców – zawiera wartość zerową mierzonej wielkości, wyniki pomiaru x uzyskuje się bezpośrednio,



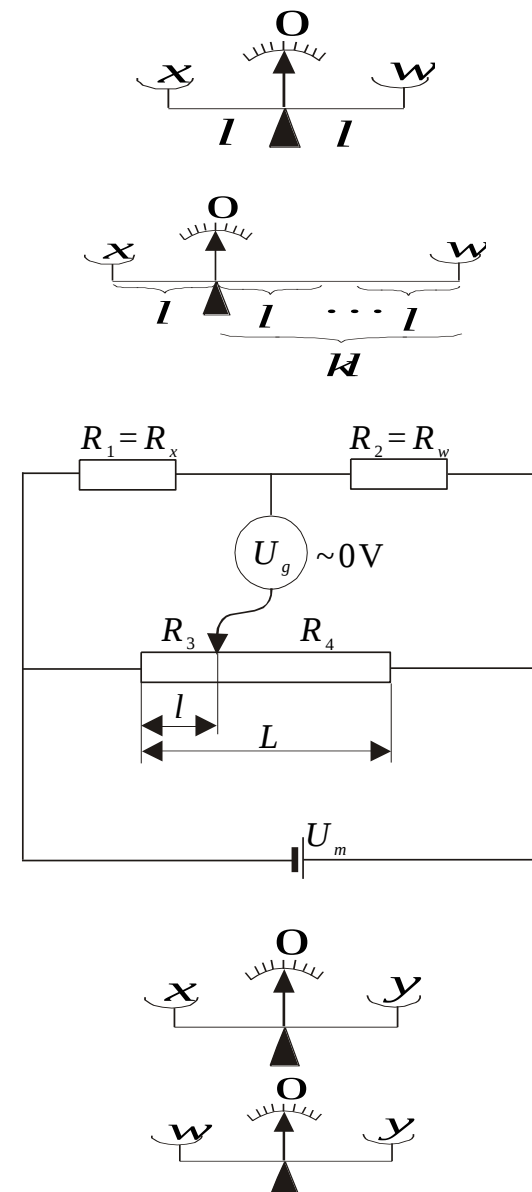
- metodę różnicową – skala pomiarowa – zbiór wzorców – nie zawiera wartości zerowej mierzonej wielkości, wyniki pomiaru x uzyskuje się pośrednio po dodaniu do wartości zmierzonej x' stałej wartości skali a , od której się ona zaczyna: $x = x' + a$,



○ metody **zerowe** – przyrząd pomiarowy zawiera zbiór wzorców o określonych wartościach; pomiar polega na doprowadzeniu do zera różnicy między kombinacją wybranych wzorców (wartością wzorcową w) a wartością mierzoną x – wynikiem pomiaru jest wartość tej kombinacji wzorców; wyróżnia się:

- metodę kompensacyjną – w procesie porównywania wartość wzorcowa przeciwdziała wartości mierzonej i kompensuje jej fizyczne działanie na przyrząd pomiarowy; następuje tu bezpośrednie porównanie wartości wzorcowej i mierzonej: $x \sim w$,
- metodę komparacyjną – w procesie porównywania wartość mierzona porównuje się z wzorcową za pomocą dodatkowego zbioru liczbowego, zawierającego tzw. mnożniki k wzorca w : $x \sim kw$,

○ metody **podstawieniowe** – porównanie wartości mierzonej wielkości x ze wzorcem w odbywa się za pomocą wartości y określonej zależnością $y = f(x)$; jeżeli wzorzec wywołuje reakcję $f(w)$, a wartość mierzona reakcję $f(x)$ i zachodzi relacja $f(w) = f(x) = y$ to $x = f^{-1}(y) = w$,



- **metody pośrednie** – uzyskanie wartości wielkości mierzonej przez wykorzystanie wartości wielkości pośrednich o różnych wymiarach, które są ze sobą związane znaną zależnością funkcyjną; wyróżnia się:
 - metody **podstawowe** (bezwzględne) – mierzona wielkość wyraża się za pomocą wielkości pośrednich będących wielkościami podstawowymi w używanym układzie wielkości i jednostek miar.

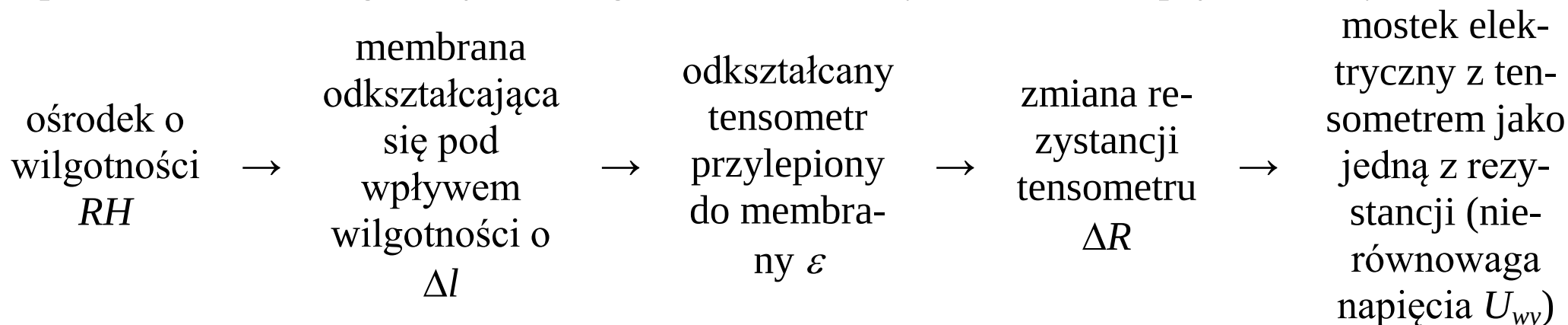
Czułość – stosunek $K = \Delta y / \Delta x$ zmiany wartości sygnału wyjściowego Δy do wywołującej ją zmiany wartości wielkości badanej (wejściowej) Δx .

Czułość czujników jest wyrażana w jednostkach będących ilorazami wielkości wejściowej i wyjściowej.

Np. czułość przyspieszeniomierza piezoelektrycznego wyraża się w $\frac{C}{\frac{m}{s^2}}$.

Aby opisać czułość całego układu pomiarowego należy opracować jego schemat blokowy, pokazujący cały układ rozłożony na elementy połączone łańcuchowo i kolejno przekształcające sygnał mierzony.

Np. dla elektronicznego czujnika wilgotności można wyodrębnić następujące człony:



Czułość takiego toru to iloczyn czułości jego członów: $\frac{U_{wy}}{RH} = \frac{\Delta l}{RH} \cdot \frac{\epsilon}{\Delta l} \cdot \frac{\Delta R}{\epsilon} \cdot \frac{U_{wy}}{\Delta R}$

Zmianę czułości całego toru pomiarowego można uzyskać zmieniając czułość dowolnego jego członu.

Zdolność rozdzielcza – minimalna zmiana wartości badanej wywołująca rozróżnialną zmianę wskazania przyrządu pomiarowego.

Dla przyrządów analogowych o odczycie wskazówkowym przyjmuje się 0,2 działki elementarnej.
Dla przyrządów o odczycie cyfrowym równa jest zmianie wskazania o najmniej znaczącą cyfrę.

Przykłady:

amperomierz wskazówkowy o 100 działkach i zakresie pomiarowym do 1 mA ma zdolność

$$\text{rozdzielczą } \frac{0,2}{100} \times 1 \text{ mA} = 0,002 \text{ mA} = 2 \mu\text{A}$$

amperomierz cyfrowy o zakresie do 9,999 mA ma zdolność rozdzielczą $0,001 \text{ mA} = 1 \mu\text{A}$

Zdolności rozdzielczej nie należy utożsamiać z błędami granicznymi i niepewnością.

Zakres pomiarowy (zakres poprawnej pracy) przyrządu pomiarowego – zakres wartości mierzonej wielkości, dla której każdy pojedynczy pomiar wykonany w określonych warunkach pracy przyrządu pomiarowego daje wynik obarczony błędem nie większym niż jego ustalona dopuszczalna wartość.

Zakres pomiarowy jest określony przez swoją dolną i górną granicę.

Dla przyrządów złożonych z wielu członów jest określony przez zakresy pomiarowe poszczególnych członów – jeżeli poziom sygnału w dowolnym członie wykracza poza właściwy mu zakres pracy, to cały system pomiarowy nie działa poprawnie.

Jeżeli od przyrządu pomiarowego żąda się liniowej postaci funkcji przetwarzania ($y = Kx$), to zakres pomiarowy nazywa się zakresem pracy liniowej i oznacza przedział wartości mierzonej wielkości, dla którego prawdziwa jest ta liniowa zależność.

Przyrząd pomiarowy jest **wielozakresowy**, gdy ma wiele różnych zakresów pomiarowych, zwykle o różnej zdolności rozdzielczej, które można wybierać ręcznie lub automatycznie. Dla przyrządów wielozakresowych zwykle stała jest względna zdolność rozdzielcza, wyrażona w procentach, odniesiona do górnej granicy danego zakresu pomiarowego.

Zakresowi pomiarowemu i czułości (zdolności rozdzielczej) przyrządu pomiarowego odpowiada tzw. **stała przyrządu**, czyli maksymalna wartość mierzonej wielkości przypadająca na jednostkę skali pomiarowej.

Wielkości wpływające – wszystkie wielkości fizyczne nie mierzone w danym pomiarze i nie wpływające na mierzoną wielkość, ale wpływające na zależność między wskazaniem przyrządu pomiarowego i wartością mierzonej wielkości, czyli charakteryzujące warunki wykonania pomiaru.

Wielkości wpływające zidentyfikowane i kontrolowalne – źródło błędów systematycznych.

Wielkości wpływające niekontrolowalne, losowo zmienne – źródło błędów przypadkowych.

W praktyce dąży się do takiego zaprojektowania i wyprodukowania przyrządu, aby oddziaływanie wielkości wpływających było jak najmniejsze.

Dobłą praktyką pomiarową jest rejestrowanie wartości wszystkich dostępnych wielkości wpływających, co pozwala na określenie i kontrolowanie **warunków odniesienia** wykonywania pomiarów, zwłaszcza przy ich powtarzaniu w dłuższym okresie czasu lub w wielu miejscach.

W ustalonych warunkach pracy przetwornik charakteryzowany jest przez charakterystyki:

- znamionową, określoną przez producenta przetwornika w postaci funkcji $y = F(x)$ dla ściśle określonych warunków otoczenia; wyznaczona z tej funkcji wielkość czułości jest czułością znamionową,
- rzeczywistą, realnie opisującą dany egzemplarz przetwornika pomiarowego pracującego w danych warunkach otoczenia.

Warunki znamionowe (nominalne) pracy – warunki uzyskania poprawnych wskazań przyrządu (nieobarczonych wpływem wielkości wpływających), dla których określono dokładność, powtarzalność, czułość, zakres pomiarowy i zdolność rozdzielczą przyrządu.

Należą do nich określone wartości:

- temperatury, zwykle 25 ± 10 °C,
- wilgotności względnej, zwykle mniejszej od 90 %,
- ciśnienia atmosferycznego, zwykle z przedziału 90÷110 kPa (900÷1100 hPa ~ 1 atm),
- zmian zasilania (elektrycznego, mechanicznego, hydraulicznego, pneumatycznego),
- poziomu wibracji i dźwięku,
- poziomu fal radiowych i mikrofalowych,
- oświetlenia zewnętrznego (podczerwienią, światłem widzialnym, nadfioletem),
- poziomu promieniowania jonizującego (X i γ),
- sztucznego pola magnetycznego (naturalne pole magnetyczne Ziemi jest obecne zawsze) i elektrycznego,
- kąta pochylenia przyrządu,
- siły grawitacji (położenia przyrządu względem masy Ziemi).

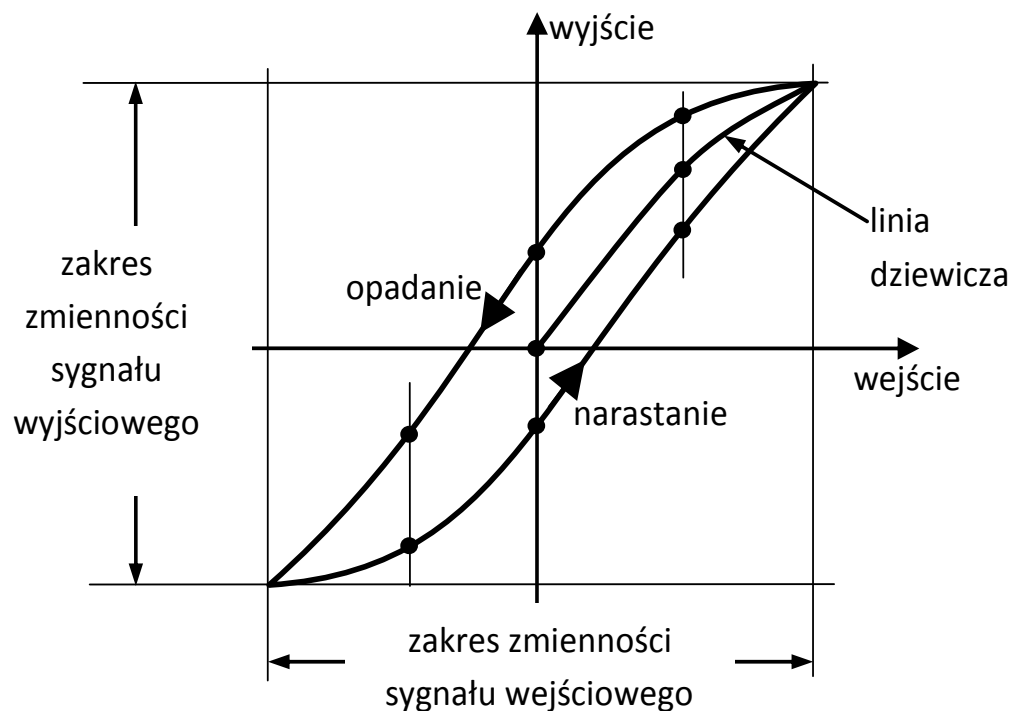
Próg działania – najmniejsza wartość wielkości mierzonej, na którą reaguje przyrząd pomiarowy wskazujący swoje umowne zero (nie należy go mylić ze zdolnością rozdzielczą, która charakteryzuje przyrząd w całym zakresie zmian wartości wielkości mierzonej).

Istnienie progu działania bywa spowodowane właściwościami fizycznej zasady działania przyrządu pomiarowego (np. przepływomierze turbinowe zaczynają działać dopiero wtedy, gdy przepływ płynu jest na tyle duży, że siły oddziaływania płynu na łopatki turbiny są większe niż opory ruchu turbiny).

Strefa martwa w działaniu przyrządu - przedział wartości mierzonej wielkości od zera do progu działania. Istnienie strefy martwej jest spowodowane np. przez luzy w mechanizmach.

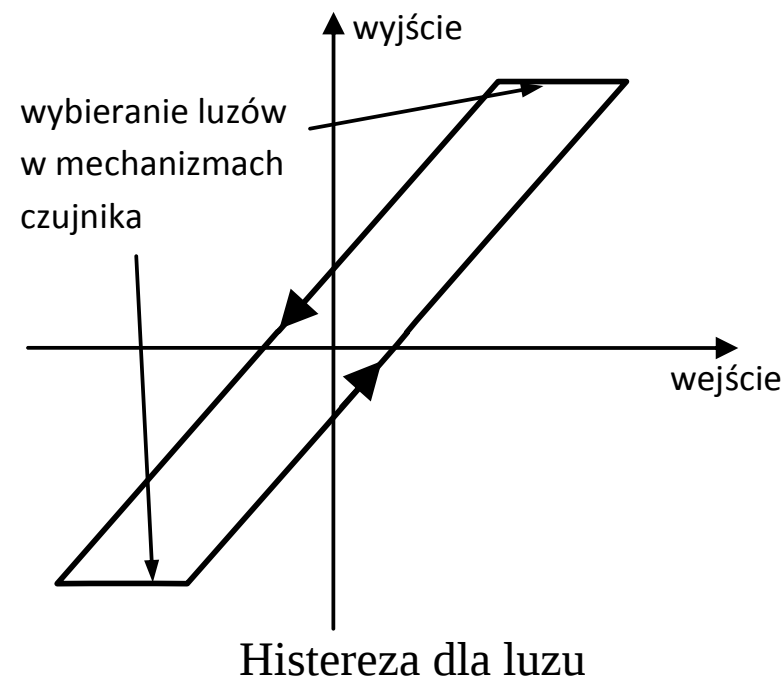
Histereza – różne wartości odpowiedzi na wymuszenia o tej samej wartości, ale różniące się kierunkiem zbliżania do tej wartości (tzn. od strony wartości mniejszych i od strony wartości większych).

Jeżeli nie można tego zjawiska wyeliminować, to przy wykonywaniu pomiarów należy stosować zawsze taki sam kierunek osiągania wartości mierzonej.



Histereza typowa

indukcja magnetyczna i natężenie pola magnetycznego
w ferromagnetyku
naprężenia i odkształcenia w elemencie mechanicznym



Wszystkie możliwe błędy wynikające z działania przyrządu składają się na **dokładność przyrządu**. Sposób wyrażenia dokładności przyrządu musi być jednoznacznie określony, np. w:

- bezwzględnych jednostkach sygnału wyjściowego,
- procentach długości zakresu pomiarowego lub zmienności sygnału wyjściowego,
- procentach górnej granicy zakresu pomiarowego,
- procentach wartości aktualnie wskazanej.

Przy określaniu tych błędów za wartość rzeczywistą uważa się wskazanie przyrządu uznawane-
go za dokładniejszy (za etalon).

Błędy te zależą od punktu pracy przyrządu (miejsca wewnątrz zakresu pomiarowego; zwykle normalizuje się je przyjmując największy błąd jako błąd dla całego zakresu pomiarowego) i wartości wielkości wpływających.

Przyrząd może wykazywać histerezę – jego błąd zależy od historii.

Przyrząd może podlegać starzeniu – jego błąd zmienia się w czasie.

Szumy wewnętrzne mogą powodować niepowtarzalność wskazań, co nadaje błędom charakter losowy.

Podstawowy graniczny błąd przyrządu – znormalizowany błąd graniczny (zakresowy) odniesiony do zakresu pomiarowego, określony dla nominalnych warunków pomiaru – najważniejszy parametr charakteryzujący dokładność przyrządu pomiarowego – podstawa do określe-

nia **klasy dokładności przyrządu pomiarowego**:
$$kl \geq \frac{\Delta_{\max} y}{|x_{\max} - x_{\min}|} \times 100 = \frac{\max |y - y_0|}{|x_{\max} - x_{\min}|} \times 100$$

x - wielkość mierzona (w mianowniku jest długość zakresu pomiarowego)

y - wielkość wyjściowa z przyrządu, czyli wynik pomiaru

y_0 - wielkość wyjściowa rzeczywista (prawdziwa) – wskazanie przyrządu uznawanego za dokładniejszy (za etalon)

Wyróżnia się następujące klasy przyrządów pomiarowych:

- przyrządy laboratoryjne: 0,05, 0,1, 0,2, 0,5
- przyrządy warsztatowe: 1, 1,5, 2,5
- wskaźniki: 5.

Spotyka się też oznaczenia A, B, C oraz 0, I, II, III, czasem z podklasami.

Brak jednolitości – patrz dyrektywy UE i rozporządzenia rządu RP.

Rozdzielczość (rozróżnialność, zdolność rozdzielcza) procesu (przyrządu) pomiarowego – zdolność do reagowania na małe zmiany wielkości mierzonej.

Czułość procesu (przyrządu) pomiarowego – wartość rejestrowalnego reagowania na małe zmiany wielkości mierzonej.

Powtarzalność (precyzja) procesu (przyrządu) pomiarowego – zdolność do wskazywania podobnych (idealnie tej samej) wartości wyników pomiarów obiektywnie tej samej wartości mierzonej wielkości wykonywanych w tych samych warunkach.

Powtarzalność wyników pomiarów – ich podobieństwo, jeśli były uzyskane w tych samych warunkach (za pomocą tej samej procedury, tym samym przyrządem pomiarowym, w tych samych warunkach otoczenia, w tym samym miejscu, przez tego samego obserwatora i przy ich powtarzaniu w krótkich odstępach czasu).

Odtwarzalność wyników pomiarów – ich podobieństwo, jeśli były uzyskane w zmienionych warunkach (gdy zmieniono zasadę i metodę pomiaru, gdy zachowując zasadę i metodę pomiaru zmieniono przyrząd pomiarowy (inny model czy inny egzemplarz), gdy zmieniono warunki otoczenia, miejsce pomiaru, obserwatora i gdy pomiary dzieliły długie odstępy czasu).

Dokładność (rzetelność) procesu (przyrządu) pomiarowego – zdolność do wskazywania wartości bliskich rzeczywistej wartości mierzonej wielkości.

Nie jest technicznie możliwe wykonanie przyrządu idealnie dokładnego i powtarzalnego. Dlatego metrologia jest dziedziną wiedzy nie tylko o samym mierzeniu, ale też o błędach pomiarowych i niepewności uzyskanego wyniku pomiaru.

Niedokładność i niepowtarzalność wiąże się odpowiednio z:

- **błędami systematycznymi** o takiej samej wartości powtarzającej się przy wielokrotnym powtarzaniu pomiaru tej samej wartości mierzonej wielkości w tych samych warunkach,
- **błędami przypadkowymi (losowymi)** o losowo, nieprzewidywalnie, zmiennej wartości przy każdym pomiarze tej samej wartości mierzonej wielkości w tych samych warunkach.

Z pojęciem błędu pomiaru wiąże się pojęcie **niepewności** uzyskanej wartości wyniku pomiaru, czyli wątpliwości w uzyskany wynik pomiaru, czyli w to, że przedstawia on rzeczywistą, prawdziwą, obiektywnie istniejącą wartość mierzonej wielkości fizycznej, nazywaną **mezurandem**.

Niepewność wyraża się określonymi miarami:

- rozrzutu wyników pomiarów wielokrotnych tej samej wartości mierzonej wielkości wykonywanych w tych samych warunkach, związanego z ich **powtarzalnością**,
- **dokładności** każdego pojedynczego pomiaru.

Z wynikiem każdego pomiaru należy podawać jego błąd lub niepewność lub przedział wartości, w jakim z założonym prawdopodobieństwem znajduje się prawdziwa wartość mierzona
(mezurand).

Uwierzytelnienie (wzorcowanie, kalibracja) – sprawdzanie dokładności przyrządu pomiarowego – proces, w którym **wyznacza się wartości błędów** (nie dokładności) jego wskazań, czyli wyznacza się relację między wartościami wskazywanymi przez ten przyrząd pomiarowy a odpowiednimi znanymi wartościami rzeczywistymi wielkości mierzonej, np. posiadanymi przez wzorce lub emitowanymi przez odpowiednie przyrządy – kalibratory.

Uwierzytelnianie jest tylko oceną dokładności przyrządu pomiarowego i nie obejmuje **adjustacji (skalowania)** – czynności i procesów **poprawiających dokładność** tego przyrządu.

Uwierzytelnianie jest szczególnie ważne, a nawet obowiązkowe, dla przyrządów pomiarowych, których stosowanie wpływa na zagadnienia związane z prawem, handlem, jakością produkcji, kontrolą i nadzorem procesów technologicznych itp. pomiarami „urzędowymi”.

Nieuwierzytelniony przyrząd pomiarowy należy uważać za nienadający się do pomiarów „urzędowych”, pomimo jego powtarzalności i dokładności.

Korzystanie z uwierzytelnionego przyrządu nie gwarantuje pewności wyniku pomiaru – uwierzytelnienie przebiegało w ściśle określonych i unormowanych warunkach, w których wielkości wpływowe i inne czynniki zakłócające były ściśle kontrolowane, zaś dany pomiar może być realizowany w zupełnie innych warunkach.

Najwłaściwsze jest uwierzytelnianie przyrządów pomiarowych w konkretnym miejscu wykonywania pomiarów dla aktualnych warunków otoczenia. Wymaga to dysponowania przenośnymi etalonami lub innymi urządzeniami i metodami kalibracji przyrządów pomiarowych, a także zapisywania nie tylko wartości mierzonej wielkości, ale też wartości wielkości wpływających i czynników zakłócających.

Uwierzytelnianie należy powtarzać. Okres między odpowiednimi sprawdzeniami zależy od jakości przyrządu oraz od krytyczności jego zastosowań.

Uwierzytelnianiem i adjustacją przyrządów pomiarowych, od których wymaga się wysokiej dokładności, oraz samych wzorców i kalibratorów zajmują się instytucje i urzędy ulokowane w strukturze administracyjno-rządowej państw oraz instytucje (laboratoria) prywatne (niezależne) i posiadające odpowiednie **akredytacje**. Takie uwierzytelnianie jest wykonywane za opłatą i zakończone wydaniem **świadectwa uwierzytelnienia (wzorcowania)**, zawierającego m.in. wartość stwierdzonego błędu (lub niepewności) przyrządu pomiarowego.

Uwierzytelnianie, a zwłaszcza bieżącą adjustację, może też przeprowadzić, na własny użytek, każdy bezpośredni użytkownik przyrządu pomiarowego (bez urzędowo wydanego świadectwa wzorcowania).

Bycie akredytowanym laboratorium w jakiejś dziedzinie i posiadanie świadectw uwierzytelnienia przyrządów pomiarowych wydanych przez akredytowane laboratoria podnosi prestiż takiego laboratorium i instytucji posługującej się takimi przyrządami.

Akredytacja laboratorium – formalne urzędowe uznanie, że laboratorium badawcze jest kompetentne do przeprowadzania określonych typów badań.

Systemy akredytacyjne są krajowe i międzynarodowe.

1977 r.: Międzynarodowa Organizacja Współpracy w zakresie Akredytacji Laboratoriów (**International Laboratory Accreditation Cooperation - ILAC**), skupia:

- delegacje rządowe
- organizacje metrologiczne (np. OIML czy BIPM)
- organizacje normalizacyjne (np. ISO czy IEC)
- organizacje gospodarczo-polityczne, np.:
 - Unia Europejska - UE (*Union européenne* - UE, *European Union* - EU), wcześniej Wspólnota Europejska - WE (*Communauté Européenne* - CE, *European Community* - EC), jeszcze wcześniej Europejska Wspólnota Gospodarcza - EWG (*European Economic Community* - EEC)
 - Układ Ogólny w sprawie Cel i Handlu (*General Agreement on Tariffs and Trade* - GATT)
 - Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (*Organization for Economic Cooperation and Development* - OECD)
 - Komisja Ekonomiczna ONZ d/s Europejskich (*United Nations Economic Commission for Europe* - UN ECE)

Akredytacją laboratoriów w Polsce zajmuje się **Polskie Centrum Akredytacji - PCA**.

Norma – uznane i prawnie przyjęte reguły dotyczące uporządkowanego sposobu podejścia do danej działalności.

Wyróżnia się normy handlowe, przemysłowe i techniczne, jakościowe itp. W normach ustala się też terminologię i definicje.

W skali świata istnieją dwie organizacje międzynarodowe opracowujące normy:

- ISO – ang.: *International Organization for Standardization*, fr. *Organisation Internationale de Normalisation* (ISO nie jest skrótowcem) – Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna,
- IEC – *International Electrotechnical Commission* – Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna.

Do obu należy Polski Komitet Normalizacyjny (PKN).

ISO – 1946 r. spotkanie założycielskie z 25 państw – połączenie:

- Międzynarodowej Federacji Narodowych Stowarzyszeń Normalizacyjnych (*International Federation of the National Standardizing Associations - ISA*), założonej w 1926 r. w Nowym Jorku, zarządzanej ze Szwajcarii, działającej do 1942 r. głównie w Europie jako porozumienie organizacji standaryzacyjnych:
 - amerykańskiej *American National Standards Institute - ANSI*
 - niemieckiej *Deutsches Institut für Normung - DIN*
 - francuskiej *Association Française de Normalisation - AFNOR*
 - brytyjskiej *British Standards Institution - BSI*,
- Komitetu Koordynacyjnego Narodów Zjednoczonych do spraw Standardów (*United Nations Standards Coordinating Committee - UNSCC*), założonego w 1944 r. przez Stany Zjednoczone, Wielką Brytanię i Kanadę, w którego skład wchodziły były kolonie brytyjskie i niektóre państwa europejskie walczące wspólnie w II wojnie światowej, zarządzanego z londyńskiego biura IEC

początek działalności 1947 r.; języki urzędowe: angielski, francuski i rosyjski, siedziba
w Genewie

Polski Komitet Normalizacyjny - **PKN**

*GO*sudarstvennyy *ST*andard GOST (*ГО*сударственный *СТ*андарт - *ГОСТ*)

IEC – efekt dyskusji, głównie brytyjskich i amerykańskich inżynierów elektryków, zapoczątkowanych na Międzynarodowym Kongresie Elektryków z 1900 r. w Paryżu.

1906 r. – Londyn – spotkanie inaugurujące działalność IEC.

Od 1948 r. siedziba Komisji w Genewie.

W 1987 r. ISO i IEC zawiązały pierwszy, a w 2009 r. drugi Wspólny Komitet Techniczny (*Joint Technical Committee (JTC)*) – współpraca we wspólnym opracowywaniu norm dla pewnych obszarów tematycznych, sygnowanych jako normy **ISO/IEC**.

Europejskie organizacje międzynarodowe opracowujące normy powstały w procesie ujednolicania rynku zachodnioeuropejskiego jeszcze w ramach EWG i EFTA (ang. *European Free Trade Association*) i funkcjonują ciągle w ramach obecnych Unii Europejskiej i EFTA.

Załącznik I do dyrektywy 98/34/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 22.06.1998 r. ustanawiający procedurę udzielania informacji w dziedzinie norm i przepisów technicznych wymienia trzy organizacje normalizacyjne wydające europejskie tzw. **normy zharmonizowane** o sygnaturze **EN**:

- Europejski Komitet Normalizacyjny **CEN** (fr. *Comite Européen de Normalisation*, ang. *European Committee for Standardization*), powstały w 1961 r.,
- Europejski Komitet Normalizacyjny Elektrotechniki **CENELEC** (fr. *Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique*, ang. *European Committee for Electrotechnical Standardization*), powstały w 1973 r.,
- Europejski Instytut Norm Telekomunikacyjnych **ETSI** (ang. *European Telecommunications Standards Institute*), założony w 1988 r. przez Europejską Konferencję Administracji Poczтовых i Telekomunikacyjnych (fr. *Conference Europeenne des Administrations des Postes et des Telecommunications*, ang. *European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*) jako odpowiedź na sugestie Komisji Europejskiej.

W CEN i CENELEC współpracują obecnie 34 europejskie krajowe instytucje normalizacyjne,
PKN od 2004 r.

W ETSI współpracuje obecnie ok. 800 organizacji (organów administracji rządowych oraz producentów, dystrybutorów i serwisantów sprzętu telekomunikacyjnego) z 66 państw europejskich i pozaeuropejskich, w tym polskie Ministerstwo Cyfryzacji.

Umowy o unikaniu sprzeczności między publikowanymi normami:

- 1991 r. między CEN i ISO – CEN przyjął wiele norm ISO, które uzupełniły, czy wręcz zastąpiły dotychczasowe normy CEN,
- 1996 r. między CENELEC i IEC – CENELEC przyjął wiele norm IEC – obecnie ponad 90 % europejskich norm elektrotechnicznych jest normami IEC.

Opracowywaniem, publikacją i sprzedażą norm w Polsce (są do kupienia w formie papierowej, na CD i jako e-pliki oraz dostępne odpłatnie on-line) zajmuje się Polski Komitet Normalizacyjny. Normy te mają sygnaturę **PN**.

Przykłady polskich norm dotyczących miernictwa:

PN-EN ISO 10012:2004 Systemy zarządzania pomiarami – Wymagania dotyczące procesów pomiarowych i wyposażenia pomiarowego

PN ISO 5725-1:2002 Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych i wyników pomiarów – Część 1: Ogólne zasady i definicje

PN ISO 5725-2:2002 Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych i wyników pomiarów – Część 2: Podstawowa metoda określania powtarzalności i odtwarzalności standardowej metody pomiarowej

PN-EN ISO 3650:2000 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Wzorce długości – Płytki wzorcowe

PN-EN ISO 13385-1:2011 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Sprzęt pomiarowy do wymiarów – Część 1: Suwmiarki – Charakterystyki konstrukcyjne i metrologiczne

PN-EN 45501:2015-05 Zagadnienia metrologiczne wag nieautomatycznych

PN-EN 60051-2:1998 Elektryczne przyrządy pomiarowe wskazujące analogowe o działaniu bezpośrednim i ich przybory – Wymagania specjalne dotyczące amperomierzy i woltomierzy

W Unii Europejskiej (też w Polsce) funkcjonuje **system oceny zgodności** z normami zharmonizowanymi.

W każdym państwie członkowskim funkcjonuje jedyna w nim krajowa jednostka akredytująca (w Polsce – **Polskie Centrum Akredytacji**) udzielająca z upoważnienia rządu tego państwa zainteresowanym jednostkom (instytucjom, przedsiębiorstwom, laboratoriom po spełnieniu przez nie określonych wymagań) **akredytacji** do wykonywania określonej działalności (np. kontrolowania i certyfikacji zgodności produktów z normami), czego poświadczeniem jest wydanie **świadcstwa (certyfikatu) akredytacji** do wykonywania tej działalności.

Akredytowana jednostka chcąc wykonywać certyfikację zgodności produktów z normami występuje do odpowiedniego ministra lub upoważnionego kierownika urzędu centralnego właściwego ze względu na przedmiot oceny zgodności o odpowiednią **autoryzację** (rządowe potwierdzenie akredytacji).

Po wydaniu takiej autoryzacji, następuje **notyfikacja** tej jednostki – jej zgłoszenie przez organ autoryzujący Komisji Europejskiej i państwom członkowskim Unii Europejskiej, jako właściwej do wykonywania określonych czynności w ramach procedur oceny zgodności.

Akredytowana, autoryzowana i notyfikowana jednostka staje się jednostką **certyfikującą określone procesy i produkty** w ramach systemu oceny zgodności, do której zgłaszają się producenci lub importerzy produktów, które chce się wprowadzać na rynek Unii Europejskiej.

Po pozytywnym wyniku przeprowadzenia określonej w prawie procedury sprawdzającej procesy i produkty, tzw. **ewaluacji typu** procesu lub produktu, jednostki certyfikujące wydają ich producentom lub importerom **certyfikaty zgodności** tych procesów i produktów z odpowiednimi normami.

Uzyskanie certyfikatu zgodności uprawnia producenta produktu do umieszczania na nim **znaków zgodności** z tymi normami (np. znaku CE). Umieszczenie takiego znaku na produkcie jest jednoznaczne z **deklaracją** producenta o spełnianiu przez ten produkt odpowiednich norm (**deklaracją zgodności** z tymi normami).

Umieszczenie znaku zgodności na wyrobie niespełniającym określonych dla niego norm jest związane z sankcjami karnymi, zgodnie z obowiązującymi kodeksami.

Uzyskanie autoryzacji przez jednostkę certyfikującą czy certyfikatu zgodności przez producenta nie jest ostateczne:

- notyfikowane jednostki certyfikujące są okresowo kontrolowane przez organ autoryzujący i notyfikujący – w przypadku stwierdzenia, że jednostka certyfikująca nie wywiązuje się ze swoich obowiązków lub przestała spełniać wymagania (np. nie odnowiła akredytacji), notyfikację się cofa lub ogranicza i informuje o tym Komisję Europejską i państwa członkowskie Unii Europejskiej;
- kontrolę wyrobów produkowanych po wydaniu certyfikatu zgodności okresowo przeprowadzają prawnie wyznaczone organy administracji państwowej (w Polsce np. inspektorzy Inspekcji Handlowej) – w przypadku stwierdzenia, że dany produkowany wyrób przestał być zgodny z wymaganiami, wyznaczone prawnie organy przeprowadzają postępowanie, którego ostatecznym efektem może być cofnięcie udzielonego certyfikatu zgodności lub sankcja karna (w Polsce takie postępowania prowadzi np. Prezes Urzędu Ochrony Konkurencji i Konsumentów (UOKiK)).

Ten system kontroli spełniania odpowiednich norm **przy wprowadzaniu na rynek** dotyczy też **przysrzadzów pomiarowych**, a odpowiednim **organem autoryzującym i notyfikującym w Polsce jest minister do spraw gospodarki**.

Wymóg akredytacji nie dotyczy jednostek organizacyjnych Głównego Urzędu Miar zajmujących się prawną kontrolą metrologiczną przysrzadzów pomiarowych wynikającą z Prawa o miarach.

Jednostki notyfikowane do certyfikacji przysrzadzów pomiarowych są przedsiębiorstwami niezależnymi od producentów tych przysrzadzów lub wydzielonymi w ramach struktury organizacyjnej tych producentów działami kontroli procesu produkcji i wyprodukowanych przysrzadzów.

Aktualnie obowiązujące w Polsce są:

- Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie zgodności,
- **Ustawa z dnia 13 kwietnia 2016 r. o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku**, regulująca ocenę zgodności m.in. przyrządów pomiarowych,
- obwieszczenia Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego w sprawie wykazu norm zharmonizowanych, wydawane dwa razy do roku,
- obwieszczenia Prezesa Głównego Urzędu Miar w sprawie wykazu dokumentów normatywnych OIML ze wskazaniem, które z nich są związane z systemem oceny zgodności oraz które dotyczą przyrządów pomiarowych, wydawane nie częściej niż raz w roku gdy są nowe dokumenty (ostatnie było w 2018 r.),
- rozporządzenia ministra do spraw gospodarki w sprawie zasadniczych wymagań dla różnych produktów.

Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 2 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla przyrządów pomiarowych, wdrażające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/32/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku przyrządów pomiarowych, regulujące wymagania i nakładające obowiązek certyfikacji (oceny zgodności) dla:

- wodomierzy,
- gazomierzy i przeliczników do gazomierzy,
- liczników energii elektrycznej czynnej,
- ciepłomierzy i ich podzespołów,
- przepływomierzy do ciągłego i dynamicznego pomiaru ilości cieczy innych niż woda,
- wag automatycznych: dla pojedynczych ładunków, porcjujących, odważających, przenośnikowych, wagonowych (wagi nieautomatyczne mają własne rozporządzenie),
- taksometrów,
- miar materialnych: materialnych miar długości i naczyń wyszynkowych,
- przyrządów do pomiaru długości, pól powierzchni i wielu wymiarów,
- analizatorów spalin samochodowych,

jeżeli są udostępniane na rynku lub oddane do użytku w celu dokonywania pomiarów:

- w ochronie: zdrowia i życia, środowiska, bezpieczeństwa i porządku publicznego, praw konsumenta,
- przy zabezpieczaniu interesu społecznego i pobieraniu podatków, cel i innych należności budżetowych,
- w handlu.

Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 2 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla wag nieautomatycznych, wdrażające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/31/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku wag nieautomatycznych (wersja przekształcona), regulujące wymagania i nakładające obowiązek certyfikacji (oceny zgodności) dla tych wag służących do określania:

- masy w obrocie handlowym,
- masy dla obliczania opłaty, cła, podatku, premii, opustu, kary, wynagrodzenia, odszkodowania lub podobnych płatności,
- masy podczas stosowania przepisów prawa oraz przy wydawaniu opinii w postępowaniach sądowych przez biegłych i ekspertów,
- masy pacjenta w praktyce medycznej w celu monitorowania, diagnozowania i leczenia,
- masy przy sporządzaniu lekarstw wydawanych na receptę w aptekach oraz przy analizach wykonywanych przez laboratoria medyczne i farmaceutyczne,
- ceny na podstawie masy przy sprzedaży konsumenckiej oraz przy paczkowaniu towarów.

Każde z państw ma suwerenną władzę w ustanawianiu obowiązujących w nim jednostek miar i ich etalonów oraz przepisów prawnych zapewniających jednolitość jednostek miar w państwie. Aktualne polskie Prawo o miarach z 2001 r. jest dostosowane do wymogów Unii Europejskiej.

Państwa utrzymują sieć laboratoriów, za pomocą których sprawują kontrolę nad instytucjami metrologicznymi. Nadrzędne miejsce w tej strukturze zajmuje krajowa instytucja metrologiczna, przechowująca w odpowiednich warunkach etalony krajowe i w której są wykonywane niezbędne procesy uwierzytelniania etalonów wtórnych, oraz oceniająca (akredytująca) inne laboratoria.

Organem rządowej administracji miar w Polsce jest **GUM – Główny Urząd Miar** i jego okręgowe jednostki organizacyjne (**Okręgowe Urzędy Miar**; jest ich 10, z siedzibami w: Warszawie, Krakowie, Wrocławiu, Poznaniu, Katowicach, Gdańsku, Łodzi, Bydgoszczy, Szczecinie i Białymstoku), też ich wydziały zamiejscowe (jest ich łącznie 50). Jego zadania to m.in.:

- utrzymywanie i rozpowszechnianie etalonów jednostek miar,
- zatwierdzanie typu przyrządu pomiarowego – stwierdzanie, że dany typ przyrządu (wszystkie jego produkowane egzemplarze) spełnia wymagania określone w odpowiednich rozporządzeniach rządu i wydawanie odpowiednich świadectw (dowodów) tego zatwierdzenia,
- okresowa legalizacja użytkowanych przyrządów pomiarowych (pojedynczych sztuk) i wydawanie świadectw i znaków legalizacyjnych.

Legalizacja przyrządu pomiarowego – badanie wykonywane za opłatą przez upoważnionych pracowników Urzędów Miar, czy przyrząd pomiarowy spełnia wymagania określone w odpowiednich rozporządzeniach rządu, zakończone w sytuacji pozytywnego wyniku tego badania wydaniem **dowodu legalizacji** i **cechowaniem** (umieszczeniem na przyrządzie pomiarowym **znaku (cechy) legalizacji** o ściśle określonym wzorze).

Legalizacja jest obowiązkowa dla przyrządów pomiarowych stosowanych w określonych prawem przypadkach.

Cykliczność legalizacji jest określona różnie dla różnych przyrządów pomiarowych w odpowiednim rozporządzeniu rządu.

Przyrząd pomiarowy bez ważnej legalizacji nie może być używany do pomiarów „urzędowych”, bez względu na jego stan.

Aktualnie obowiązujące w Polsce są:

Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. Prawo o miarach, określająca m.in.:

- że przyrządy pomiarowe wprowadzone do obrotu w państwach członkowskich Unii Europejskiej są też dopuszczone do obrotu w Polsce,
- że legalne są w Polsce jednostki układu SI i spoza tego układu dopuszczone do stosowania przez Radę Ministrów oraz przez ministra do spraw gospodarki w zakresie pomiarów związanych z bezpieczeństwem państwa,
- że minister do spraw gospodarki określi procedury związane z etalonami państwowymi,
- że prawnej kontroli metrologicznej (zatwierdzanie typu nowych i legalizacja już używanych przyrządów pomiarowych) podlegają przyrządy pomiarowe stosowane:
 - w ochronie: zdrowia, życia i środowiska, bezpieczeństwa i porządku publicznego, praw konsumenta,
 - przy pobieraniu opłat, podatków i innych należności budżetowych oraz ustalaniu opustów, kar umownych, wynagrodzeń i odszkodowań, a także przy pobieraniu i ustalaniu podobnych należności i świadczeń oraz przy dokonywaniu kontroli celno-skarbowej,
 - w obrocie
- i określone w przepisach wydanych przez ministra do spraw gospodarki,
- tryb przebiegu prawnej kontroli metrologicznej,
- organizację administracji miar, składającą się z Prezesa Głównego Urzędu Miar (GUM) i dyrektorów okręgowych urzędów miar (też ich wydziałów zamiejscowych), a także Rady Metrologicznej przy Prezesie GUM.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 czerwca 2020 r. w sprawie legalnych jednostek miar, m.in. podające nazwy i definicje legalnych jednostek miar (podstawowych dla układu SI po ich redefinicji w 2019 r. oraz pochodnych mających własne nazwy), wykaz jednostek dopuszczonych do stosowania spoza układu SI oraz zasady pisowni jednostek i ich symboli.

Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 15 lutego 2005 r. w sprawie jednolitości miar i dokładności pomiarów związanych z obronnością i bezpieczeństwem państwa, określające m.in. zasady kontroli metrologicznej w wojsku oraz jednostki miar dopuszczone do użytku w działalności związanej z obronnością państwa (i uczestnictwem w NATO z państwami, w których korzysta się z anglosaskiego lub technicznego układu jednostek lub innych jednostek zwyczajowych).

Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 30 stycznia 2003 r. w sprawie uznawania wzorców jednostek miar za państwowe wzorce jednostek miar.

Obwieszczenia Prezesa Głównego Urzędu Miar z w sprawie wzorców różnych jednostek miar spełniających warunki określone dla państwowych wzorców jednostek miar, określające Polskie państwowe wzorce jednostki miar: czasu, częstotliwości, długości, kąta płaskiego, masy, gęstości, lepkości kinematycznej, napięcia elektrycznego stałego i przemiennego, stosunku napięć i prądów elektrycznych przemiennych o częstotliwości 50 Hz, mocy prądu elektrycznego przemiennego, oporu elektrycznego, rezystancji, przewodności elektrycznej właściwej elektrolitów, pojemności elektrycznej, indukcyjności, temperatury, światłości, strumienia świetlnego, współczynnika załamania światła, kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła widzialnego, ilości substancji, pH i aktywności promieniotwórczej radionuklidów.

Rozporządzenie Ministra Przedsiębiorczości i Technologii z dnia 22 marca 2019 r. w sprawie prawnej kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych, w którym określono tryby zatwierdzenia typu, legalizacji pierwotnej (w tym jednostkowej) oraz legalizacji ponownej, a także wzory decyzji i znaku zatwierdzenia typu, wzory świadectwa i cech legalizacyjnych oraz okresy ważności legalizacji dla różnych przyrządów pomiarowych.

Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Finansów z dnia 13 kwietnia 2017 r. w sprawie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz zakresu tej kontroli, określające m.in., że:

- zatwierdzeniu typu, legalizacji pierwotnej i legalizacji ponownej podlegają:
 - drogowe cysterny pomiarowe,
 - gęstościomierze zbożowe użytkowe,
 - manometry do opon pojazdów mechanicznych,
 - przyrządy do pomiaru prędkości pojazdów w ruchu drogowym,
 - wagi samochodowe do ważenia pojazdów w ruchu,
 - zbiorniki pomiarowe do cieczy,
- zatwierdzeniu typu i legalizacji pierwotnej podlegają:
 - areometry szklane do alkoholu i cieczy innych niż alkohol,
 - beczki metalowe,
- zatwierdzeniu typu podlegają:
 - gęstościomierze cieczowe,
 - gęstościomierze zbożowe wzorcowe,
 - mierniki poziomu dźwięku,
 - wykresówki do tachografów samochodowych,

- legalizacji pierwotnej i legalizacji ponownej podlegają:
 - odważniki określonych klas dokładności o określonych masach,
- legalizacji ponownej po dokonaniu oceny zgodności podlegają:
 - analizatory spalin samochodowych,
 - ciepłomierze o przepływie do $500 \text{ m}^3/\text{h}$ z wyjątkiem zwężkowych i składanych,
 - gazomierze o przepływie do $100 \text{ m}^3/\text{h}$ w sieci o ciśnieniu roboczym do 0,5 MPa,
 - wodomierze o ciągłym przepływie do $500 \text{ m}^3/\text{h}$,
 - przepływomierze cieczy innych niż woda: mleka o przepływie do 2000 l/min, cieczy kriogenicznych o przepływie do 600 l/min, skroplonego propanu-butanu o przepływie do 1000 l/min, pozostałych cieczy (np. paliw) o przepływie do 6000 l/min,
 - liczniki energii elektrycznej czynnej prądu przemiennego klas dokładności A, B i C,
 - maszyny do pomiaru powierzchni skór,
 - przyrządy do pomiaru długości tkanin, drutu, kabli, taśm, opatrunków, papieru,
 - taksometry,
 - wagi automatyczne do pojedynczych ładunków, odważające, porcjujące, przenośnikowe i wagonowe,
 - wagi nieautomatyczne,
- legalizacji ponownej podlegają przyrządy pomiarowe posiadające zatwierdzenie typu wydane przed 7.01.2007 r. lub legalizację pierwotną w dniu ich wprowadzenia do obrotu lub użytkowania: przyrządy podlegające legalizacji ponownej po dokonaniu oceny zgodności, przy czym:
 - wodomierze o przepływie nominalnym do $500 \text{ m}^3/\text{h}$ niekoniecznie ciągłym,
 - liczniki energii elektrycznej czynnej prądu przemiennego klas dokładności 2, 1 i 0,5,
 - taksometry elektroniczne,
- zatwierdzeniu typu, legalizacji pierwotnej i legalizacji ponownej po naprawie podlegają:
 - tachografy samochodowe.

Rozporządzenia ministra właściwego do spraw gospodarki w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać różne przyrządy pomiarowe (tj. odważniki, wagi nieautomatyczne, wagi automatyczne dla pojedynczych ładunków, przenośnikowe, odważające i porcjujące, wagi wagonowe i samochodowe do ważenia tych pojazdów w ruchu, przyrządy do pomiaru długości, przymiary, maszyny do pomiaru pola powierzchni skór, zbiorniki pomiarowe, beczki, drogowe cysterny pomiarowe, wodomierze, instalacje pomiarowe do ciągłego i dynamicznego pomiaru ilości cieczy innych niż woda, gazomierze i przeliczniki do gazomierzy, areometry szklane, naczynia wyszynkowe, gęstościomierze oscylacyjne do pomiaru gęstości cieczy, gęstościomierze zbożowe, ciepłomierze i ich podzespoły, liczniki energii elektrycznej czynnej prądu przemiennego, taksometry elektroniczne, analizatory spalin samochodowych, przyrządy do pomiaru prędkości pojazdów w ruchu drogowym, mierniki poziomu dźwięku, manometry do opon pojazdów mechanicznych) oraz szczegółowego zakresu sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych (**ok. 30 aktualnie obowiązujących**).

Rozporządzenie Ministra Przedsiębiorczości i Technologii z dnia 27 czerwca 2018 r. w sprawie określenia obszaru działania i siedzib okręgowych urzędów miar.

Rozporządzenie Ministra Finansów z dnia 14 czerwca 2013 r. w sprawie opłat za czynności urzędowe wykonywane przez organy administracji miar i podległe im urzędy.

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 2 listopada 2009 r. w sprawie wzorów upoważnień do kontroli, legitymacji oraz protokołów kontroli stosowanych przez pracowników urzędów miar.

Zarządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 17 grudnia 2021 r. w sprawie nadania statutu Głównemu Urzędowi Miar.