

# Główny Urząd Miar

<http://www.gum.gov.pl/pl/redefinicja-si/redefinicja-si/2334,Redefinicja-SI.html>  
2018-11-21, 20:45

## Redefinicja SI

Autor : Aleksandra Gadomska  
Opublikowane przez : Adam Zeberkiewicz

Główne wyzwania współczesnego świata, przed którymi stajemy dzisiaj, są mierzalne. Mierzymy świat w sekundach, metrach, kilogramach czy amperach. W przytłaczającej większości krajów stosujemy do tego Międzynarodowy Układ Jednostek Miar SI, który scala niemal cały świat w spójną metrologiczną całość.

Spójna, jednolita metrologia dba o nasze zdrowie, środowisko, wymianę handlową, naukę, technikę i bezpieczeństwo. Przed współczesną metrologią pojawia się jednak nowe wyzwanie w postaci redefinicji SI, która sprawi, że metrologia gotowa będzie sprostać wymaganiom nowoczesności XXI wieku.



### Redefinicja SI - Dlaczego? W jakim celu? Co dzięki temu zyskamy?

Każdy, kto słyszy hasło „redefinicja SI”, na pewno stawia sobie takie pytania. Aby zrozumieć dlaczego jest to tak ważne i rewolucyjne, posłużymy się przykładowo jednostkami czasu i długości. W dziedzinach tych sytuacja jest niezwykle komfortowa i wiele innych dziedzin metrologicznych patrzyło przez lata zazdrosnym okiem na odtwarzanie jednostek miar tych właśnie wielkości. "Metrologiczny komfort" związany z tymi jednostkami jest możliwy dzięki wykorzystaniu do ich określenia stałych podstawowych. W dziedzinie czasu jednostka miary – sekunda – zdefiniowana jest jako ściśle określona liczba okresów promieniowania powstającego podczas zmiany stanu energetycznego atomu cezu (<sup>133</sup>Cs), a w dziedzinie długości – metr – zdefiniowany jest za pomocą naturalnej własności naszego wszechświata – prędkości światła.

Metrologiczna jednolitość i spójność jednostek miar na całym świecie wymaga szeregu działań ze strony instytucji odpowiedzialnych na szczeblu krajowym za utrzymanie państwowych wzorców

jednostek miar. Jednym z kluczowych działań w tej dziedzinie są międzynarodowe porównania wzorców, które w dużej ogólności służą sprawdzeniu, jak dokładnie (i czy poprawnie) w danym kraju realizowana jest dana jednostka miary. W dziedzinach metrologii opartych na stałych podstawowych porównania te są znacznie ułatwione. Dziedzina czasu i częstotliwości jest tu najlepszym przykładem prostoty wykonania takich porównań, gdyż wykorzystując wzorce pierwotne oparte na oscylacjach w atomie cezu oraz technologie zdalnych porównań (czy to poprzez łącza światłowodowe, czy satelity systemów nawigacji satelitarnej, czy też geostacjonarne satelity telekomunikacyjne), w każdym momencie możemy porównać nasz wzorec z innymi wzorcami z całego świata, po prostu wymieniając pliki z danymi i możemy to realizować praktycznie na bieżąco.

Zupełnie przeciwna sytuacja jest w dziedzinie masy, gdzie wzorec kilograma jest ostatnim wzorcem materialnym (artefaktycznym). Swoisty „ostatni mohikanin” jest niewielkim walcem wykonanym z dużą dokładnością, jeśli chodzi o wymiary geometryczne, ze stopu platyny i irydu. Wzorec międzynarodowy jednostki masy ukrywa się w piwnicach w Sèvres, szczelnie zamknięty przed wpływem czynników zewnętrznych. Takie same walce są w posiadaniu wszystkich krajów zrzeszonych konwencją metryczną i stanowią ich wzorce państwowe. Skąd więc możemy mieć pewność, że wykonany i wywzorcowany wzorec masy przechowywany przez kilkadziesiąt lat, choć szczelnie zamknięty w jak najlepszych warunkach, waży wciąż kilogram? Aby zagwarantować spójność pomiarową w tej dziedzinie, realizowane są międzynarodowe porównania wszystkich wzorców państwowych z wzorcem międzynarodowym. Można sobie wyobrazić na jaką skalę jest to przedsięwzięcie. Dość powiedzieć, że takie porównania wykonywane są średnio co kilkadziesiąt lat. Pomimo najstaranniejszej opieki roztaczanej nad cennymi walcami, obserwuje się zmiany ich masy spowodowane czy to osadzaniem się na nich różnych cząsteczek obecnych w powietrzu, czy też erozji wywołanej również różnymi składnikami powietrza.

Sytuacja, zupełnie inna, choć nie tak skomplikowana jak w przypadku masy, istnieje również w dziedzinie wielkości elektrycznych. Niemal każdy na lekcjach fizyki słyszał o definicji ampera opartej na dwóch nieskończenie długich przewodnikach o znikomym przekroju. Obecnie odtwarzanie jednostki miary prądu elektrycznego zgodnie z tą definicją nie jest realizowane w praktyce. Do tego celu wykorzystuje się realizację jednostki miary napięcia elektrycznego wykorzystującej zjawisko Josephsona oraz realizację jednostki miary rezystancji opartej na kwantowym zjawisku Halla.

Rozwiązaniem opisanych (oczywiście tylko częściowo) problemów metrologicznych przy realizacji jednostek miar, zgodnie z obecnymi definicjami, jest wykorzystanie stałych podstawowych do ich zdefiniowania. Takie podejście ma wielką zaletę, jest bowiem zgodne z założeniami dzisiejszej nauki, iż podstawowe stałe fizyczne są w istocie stałe, a wzorce oparte na tych stałych mają szansę również pozostać niezmiennie.

## Redefinicja SI - „Stare” a „nowe” SI

Gruntowna „rewolucja” objęła cztery jednostki miar: kilogram, amper, mol i kelwin, jednak zdecydowano o przebudowaniu tekstów wszystkich definicji, tak aby po redefinicji miały jednolitą budowę. Poniższe zestawienie zawiera obecnie obowiązujące definicje jednostek miar oraz ich nowe,

proponowane brzmienie. Nowe brzmienie definicji zostanie ostatecznie sformułowane i zatwierdzone podczas XXVI Generalnej Konferencji Miar, która odbędzie się w dniach 13-16 listopada 2018 roku. Nowe definicje jednostek miar zaczną obowiązywać od maja 2019 roku.

## Redefinicja SI - Co się zmieni?

Jest to kolejne niezwykle ważne pytanie w kontekście nadchodzących zmian i zapewne pojawia się zaraz po pytaniu o celowość redefinicji.

Dla przytłaczającej większości ludzi nie zmieni się zupełnie nic. Telewizor nadal będzie działał tak samo, pobierając dokładnie taki sam prąd jak wcześniej, temperatura ciała zdrowego człowieka nadal będzie wynosiła 36,6 °C, a ważąc na wadze kuchennej mąkę potrzebną do upieczenia szarlotki, nadal będziemy odliczać ją w tych samych gramach.

## Nowe SI wśród uczniów i nauczycieli

Uczniowie oraz nauczyciele, w szczególności na niższych poziomach edukacji, są grupą, która najprawdopodobniej najbardziej odczuje konsekwencje rewolucji. Choć już z niektórymi obecnymi definicjami pojawiają się pewne problemy interpretacyjne (jak choćby definicja Ampera o nieskończenie długich przewodnikach, czy definicja sekundy wymagająca pewnego wprowadzenia w budowę atomów), to wszystkie nowe, proponowane definicje otrzymały brzmienie opierające jednostki miary na stałych podstawowych. Takie sformułowanie definicji jest przede wszystkim bardziej wymagające intelektualnie i bardziej abstrakcyjne. Wymaga szerszego wprowadzenia w fizykę i w zagadnienie stałych podstawowych. Wobec samych stałych podstawowych rodzą się pytania: skąd się wzięły i czym są, skąd wiemy, że mają dokładnie takie wartości liczbowe?

O ile metr oparty na prędkości światła jest w miarę dobrze rozumiany, gdyż prędkość jest wielkością fizyczną z którą styka się każdy, jadąc choćby tramwajem do szkoły, o tyle już stała Plancka, często opisywana jako „kwant działania”, jest pojęciem niezwykle trudnym, wymagającym zgłębienia wiedzy o fizyce kwantowej.

Szkolne wyzwanie, stawiane przez nowe definicje, jest na pewno obustronne. Wymaga większego zaangażowania intelektualnego i zgłębienia zagadnień dotyczących fizyki na nieco wyższym poziomie, zarówno od uczniów, jak i nauczycieli. Dodatkowo, ci ostatni obciążeni będą zadaniem odpowiedniego przekazania tej wiedzy uczniom. Transfer wiedzy zawsze był zagadnieniem trudnym, a po redefinicji na pewno jeszcze się skomplikuje.

W aspekcie redefinicji niezwykle ważką rolę mają do odegrania krajowe instytucje metrologiczne, których rolą, poza utrzymaniem wzorców państwowych, jest szerokie upowszechnianie wiedzy metrologicznej. Na pewno pomocne będą przy tym materiały dydaktyczne przeznaczone dla różnych poziomów edukacyjnych, będące obecnie w przygotowaniu.

## Nowe SI a nauka i technologia

Redefinicja SI jest olbrzymim krokiem naprzód w historii nauki i techniki. Definiując nowy układ SI,

sięgamy daleko, nawet poza nasz układ słoneczny, po fizyczne stałe podstawowe, które są, w skali wszechświata, uniwersalne. Gdy rewolucja się dokona, wszystkie jednostki miary, i te podstawowe i te pochodne z nich wyprowadzone, będą oparte na filarach naszego świata – stałych podstawowych. Nauka i technologia nie będą już dłużej ograniczane zmieniającymi się wzorcami materialnymi. Co więcej, postęp w nauce i technice, który pozwoli na konstruowanie coraz lepszych przyrządów pomiarowych i pozwoli na odtwarzanie jednostek miar z coraz większą dokładnością, nie będzie skutkowało koniecznością wprowadzania kolejnych redefinicji.

## Nowe SI a życie publiczne

W całym skomplikowaniu nowych definicji, fizyce kwantowej i stałych podstawowych, jest jedna dobra wiadomość. Wpływ nowego SI na życie publiczne będzie znikomy. Zaraz po wejściu w życie definicji pójdziemy do sklepu po kilogram mąki, zatankujemy 30 litrów paliwa na stacji benzynowej, a fryzjer skróci nam włosy o 5 centymetrów (choć akurat w tym ostatnim przypadku, jak zwykle będzie to za dużo)...

Przejęcie do nowego układu jednostek miar nie spowoduje przerwy w dostawie wody czy energii, nie zatrzyma kursowania transportu publicznego. Również wojsko będzie funkcjonowało nieprzerwanie, a pojazdy obrony narodowej będą poruszać się ciągle z taką samą prędkością i wystrzeliwać pociski na takie same odległości. Metrologia prawna będzie również działać w ten sam sposób: legalizacja wag, fotoradarów czy dystrybutorów paliwa na stacjach benzynowych będzie przebiegać zgodnie z wcześniejszymi procedurami.

Dobra wiadomość jest również taka, że obecne jednostki miar będą oparte na solidniejszych i bardziej uniwersalnych podstawach, a jeśli w kosmosie, poza kulą ziemską, istnieje życie, to będziemy mogli prowadzić z nimi bezproblemową wymianę handlową, opartą na nowej definicji kilograma.

Materiał opracowano w Wydziale Strategii i Rozwoju w Biurze Strategii Głównego Urzędu Miar. W materiale wykorzystano materiał graficzny dotyczący SI udostępniony przez BIPM oraz zdjęcia laboratoriów i budynku Głównego Urzędu Miar

Zapraszamy 16 listopada 2018 o godz. 11:00 (10:00 UTC)  
do obejrzenia na żywo obrad Generalnej Konferencji  
Miar.

<https://www.youtube.com/channel/UC9R0ltu1--gjcrk5ZcWbHVQ>

## Stałe podstawowe

|                  |  |
|------------------|--|
| $\Delta\nu_{Cs}$ | 9 192 631 770 s <sup>-1</sup>  |
| $c$              | 299 792 458 m•s <sup>-1</sup>  |
| $h$              | 6,626 070 15•10 <sup>-34</sup> J•s (J•s = kg•m <sup>2</sup> •s <sup>-1</sup> )   |
| $e$              | 1,602 176 634•10 <sup>-19</sup> C (C = A•s)  |
| $k$              | 1,380 649•10 <sup>-23</sup> J•K <sup>-1</sup> (J•K <sup>-1</sup> = kg•m <sup>2</sup> •s <sup>-2</sup> •K <sup>-1</sup> ) |

|          |   |
|----------|---|
| $N_A$    | $6,022\ 140\ 76 \cdot 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$   |
| $K_{cd}$ | $683\ \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$ (dla monochromatycznego promieniowania o częstotliwości $540 \cdot 10^{12}\ \text{Hz}$ ) |

## Jednostki

|       |  |
|-------|--|
| 1 s   | $9\ 192\ 631\ 770 / \Delta\nu_{Cs}$  |
| 1 m   | $(c/299\ 792\ 458)\ \text{s} \approx 30,663\ 319\ c / \Delta\nu_{Cs}$  |
| 1 kg  | $(h/6,626\ 070\ 15 \cdot 10^{-34})\ \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$<br>$\approx 1,475\ 521 \dots \cdot 1040\ h \cdot \Delta\nu_{Cs} \cdot c^{-2}$                    |
| 1 A   | $(e/1,602\ 176\ 634 \cdot 10^{-19})\ \text{s}^{-1}$<br>$\approx 6,789\ 687 \cdot 108\ \Delta\nu_{Cs} \cdot e$  |
| 1 K   | $(1,380\ 649 \cdot 10^{-23}/k)\ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$<br>$\approx 2,226\ 6653\ \Delta\nu_{Cs} \cdot h \cdot k^{-1}$                      |
| 1 mol | $6,022\ 140\ 76 \cdot 10^{23} \cdot N_A^{-1}$  |
| 1 cd  | $(K_{cd}/683)\ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{sr}^{-1}$<br>$\approx 2,614\ 830 \cdot 10^{10}\ (\Delta\nu_{Cs})^2 \cdot h \cdot K_{cd}$ |

Informacje na temat redefinicji SI są też dostępne [na stronie BIPM](#).