

Zdzisław MRUGALSKI

Instytut Konstrukcji Przyrządów Precyzyjnych i Optycznych  
Politechnika Warszawska

### DO CZEGO SŁUŻĄ ZEGARY ?

Streszczenie. W referacie omówiono definicję podstawowej jednostki czasu - sekundy w jej historycznym rozwoju. Podano ogólne wiadomości o budowie współczesnych mechanizmów zegarowych. Poza podstawową funkcją, jaką spełniają zegary, tj. pomiarem czasu, omówiono także inne ich funkcje: estetyczne, reprezentacyjne, hobbistyczne i inne.

### WHAT FOR DO WE USE CLOCKS ?

Summary. In the report a definition of fundamental time unit - the second - within its history is discussed. General information about design of modern clock mechanisms is given. The fundamental function of clocks, i.e. measurement of time, and other functions such as esthetic, representative, hobbistic, etc, are also described.

### К ЧЕМУ СЛУЖАТ ЧАСЫ?

Резюме. В докладе представлено описание основной единиц времени - секунды - в ее исторической развитии. Даны общие сведения механизмов новейших часов. Кроме основной функции часов - измерения времени - описаны тоже другие функции часов: эстетические, репрезентативные, любительные и другие.

## 1. WSTĘP

Na pytanie postawione w tytule najkrócej można odpowiedzieć następująco: zegary służą do odmierzania i wskazywania czasu.

A zatem "czym jest czas?" - pytał już św. Augustyn. I bezradnie odpowiadał: "Gdy mnie o to nikt nie pyta - wiem. Kiedy jednak chcę to objaśnić, wtedy tego nie wiem".

W normie [5] podana jest następująca definicja czasu:

"Czas  $t$ ,  $T$  - podstawowe, pierwotne pojęcie fizyczne. Geometryczną interpretacją czasu jest prosta czasu o wyróżnionym zwrocie dodatnim."

Podobną definicję zamieszczono w znowelizowanym projekcie tej normy [6].

Jako miarę czasu można przyjąć zjawiska nieperiodyczne zachodzące według ściśle określonego prawa (jak np. czas wypływu wody ze zbiornika, czas narastania napięcia na zaciskach ładowanego kondensatora, czas połowicznego rozpadu pierwiastków promieniotwórczych) lub też zjawiska periodyczne powtarzające się z dostateczną do celów pomiaru dokładnością (np. zjawiska astronomiczne, ruch wahadła, ruch drgający harmoniczny ciał sprężystych, drgania w obwodach elektrycznych). Do dokładnych pomiarów czasu z reguły wykorzystuje się zjawiska periodyczne, natomiast do pomiarów mniej dokładnych można wykorzystywać również zjawiska aperiodyczne.

W zależności od celu pomiarów rozróżniamy następujące zasadnicze metody odmierzania czasu:

- mierzenie czasu w sposób ciągły od chwili przyjętej za początek rachuby czasu; urządzeniami przeznaczonymi do tego celu są zegary, które w każdej chwili wskazują lub sygnalizują bieżący czas; zegary służą więc do przechowywania ("konserwacji") czasu ustalonego metodami astronomicznymi, a w przypadku zegarów mniej dokładnych - ustalonego przez porównanie ich wskazań z zegarami wzorcowymi;
- mierzenie przedziałów czasu; do mierzenia długich przedziałów czasu służą zazwyczaj zegary, natomiast do pomiarów przedziałów krótszych stosuje się specjalne urządzenia, zwane czasomierzami, które są zwykle wyposażone w urządzenie do kasowania wskazań; do grupy czasomierzy zalicza się też różnego rodzaju opóźniacze czasowe, np. tzw. minutniki stosowane w gospodarstwie domowym, przekaźniki czasowe stosowane w układach automatyki lub różnego rodzaju opóźniacze stosowane w technice wojskowej;
- mierzenie częstotliwości; polega ono na zliczaniu powtarzających się zjawisk w określonym przedziale czasu, np. liczba drgań rezonatora w okresie 1 sekundy (częstotliwość w Hz), liczba obrotów wałka w okresie 1 min. (prędkość obrotowa w obr./min.) itp.

## 2. WZORCE I JEDNOSTKI CZASU [2, 3]

Jednostkami czasu związanymi z ruchem obrotowym i obiegowym Ziemi względem Słońca są doba i rok. Rozróżnia się czas słoneczny prawdziwy i czas słoneczny średni. Czas słoneczny prawdziwy związany jest z położeniem środka tarczy Słońca. Okres czasu między kolejnymi dołowaniem (tj. dolnymi kulminacjami) Słońca nosi nazwę doby słonecznej prawdziwej. Wskutek niejednostajności pozornego ruchu Słońca względem Ziemi wzorzec czasu określony na podstawie czasu słonecznego prawdziwego nie jest dogodny. Dlatego w życiu codziennym za podstawę rachuby czasu przyjęto czas słoneczny średni, związany z położeniem na sferze niebieskiej matematycznie wyznaczonego punktu poruszającego się ruchem jednostajnym, tzw. słońcem średnim. Jako jednostkę użytkową czasu przyjęto więc średnią dobę słoneczną, która w ciągu roku może różnić się od doby prawdziwej o wartość dochodzącą do około  $\pm 16$  minut. Różnica ta zależy od pory roku i jest spowodowana zmianami prędkości kątowej Ziemi w jej ruchu wokół Słońca. Oparta na średniej dobie słonecznej definicja sekundy określona jako "1/86400 część średniej doby słonecznej" już w latach trzydziestych naszego stulecia okazała się zbyt mało dokładna.

Dokładniejsze są natomiast okresy czasu pomiędzy kolejnymi przejściami odległych gwiazd przez płaszczyznę południka ziemskiego, gdyż zależą tylko od ruchu wirowego kuli ziemskiej wokół swej osi. Te okresy nazywne są dobą gwiazdową. Jest ona krótsza od doby słonecznej i wynosi 23 godziny, 56 minut i 4,0905 sekund średniego czasu słonecznego. W latach trzydziestych dobę gwiazdową przyjmowano jako podstawę do ustalania sekundy jako podstawowej jednostki czasu. Jednak dokładniejsze pomiary długości doby gwiazdowej za pomocą zegarów kwarcowych wykazały, że ruch wirowy Ziemi wokół swej osi wykazuje pewne wahania, przy czym stwierdzono zarówno zmiany okresowe, jak i nieokresowe - spowodowane przypuszczalnie zjawiskami meteorologicznymi.

Znacznie większą dokładność wykazuje okres obiegu Ziemi wokół Słońca, dlatego jednostkę czasu - sekundę - postanowiono określić jako część roku zwrotnikowego, czyli okresu czasu pomiędzy dwoma kolejnymi przejściami Słońca przez punkt równonocy wiosennej. Ponieważ dokładne pomiary wykazały, że rok zwrotnikowy ulega skracaniu o ok. 0,0053 s na rok, czyli o 1 sekundę na ok. 188 lat, w 1954 r. na X Generalnej Konferencji Miar w Paryżu, na wniosek Międzynarodowej Unii Astronomicznej, jako podstawową jednostkę czasu przyjęto długość roku zwrotnikowego, którego środek przypadł na początku roku astronomicznego 1900, czyli 0 stycznia 1900 (tzn. 31 grudnia 1899 r.), o godz. 12 czasu efemeryd. Zgodnie z tym definicja sekundy była następująca:

*"Sekunda jest 1/31 556 925,9747 częścią roku zwrotnikowego 1900, styczeń 0, godzina 12 czasu efemeryd".*

Skala czasu oparta na tej definicji nosi nazwę czasu *efemerydalnego*.

W latach sześćdziesiątych wobec ogromnych postępów w elektronice i w badaniach nad budową materii powstały tendencje do zrezygnowania z astronomicznego (makrokosmicznego) wzorca czasu i zastąpienia go atomowym (mikrokosmicznym) wzorcem częstotliwości. Teoretycznie wzorec atomowy oparty na przejściu między dwoma poziomami energii atomu lub cząsteczki może być zrealizowany z nieograniczoną dokładnością. Stwierdzono, że sekundzie czasu efemerydalnego odpowiada 9 192 631 770 okresów drgań wewnątrzatomowych cezu we wzorcu (zegarze) cezowym. Skala czasu oparta na wzorcu atomowym stanowi tzw. *czas atomowy*.

W 1968 roku na XIII Generalnej Konferencji Miar w Paryżu stwierdzono, że dotychczasowa definicja sekundy (przyjęta na X Gen. Konf. Miar) nie wystarcza już dla współczesnych potrzeb metrologii i że cezowy wzorec częstotliwości jest już wystarczająco zbadany i dostatecznie dokładny, aby mógł posłużyć do zdefiniowania sekundy. W uchwale Nr 1 tej konferencji jako nową jednostkę czasu dla Międzynarodowego Układu Jednostek (SI) przyjęto definicję sekundy w następującym brzmieniu<sup>1</sup>:

*"Sekunda jest czasem trwania 9 192 631 770 okresów promieniowania, odpowiadającego przejściu między dwoma nadsubtelnymi poziomami stanu podstawowego atomu cezu 133".* Jednocześnie uchylono dotychczasową definicję sekundy.

---

1. Definicja sekundy przyjęta na XII Generalnej Konferencji Miar obowiązuje również w Polsce (zarządzenie Prezesa CUJM w sprawie nowej definicji sekundy - Monitor Polski Nr 25 z dn. 17.4.1971 r.)

### 3. ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE WSPÓŁCZESNYCH MECHANIZMÓW ZEGAROWYCH [1, 3, 4]

Aby zegar mógł spełniać swą zasadniczą funkcję, tj. odmierzać i wskazywać czas, musi on być wyposażony w układ wykonujący drgania okresowe, zwany *regulatorem zegarowym* i urządzenie do zliczania tych drgań, co umożliwia wskazywanie bieżącego czasu.

Rozwój nauk fizycznych w ostatnich dziesięcioleciach, szczególnie mikroelektroniki, spowodował znaczne zmiany rozwiązań konstrukcyjnych przyrządów i urządzeń do pomiaru czasu. Zmiany te dotyczą nie tylko zasady działania i konstrukcji poszczególnych zespołów funkcjonalnych, ale także struktury tych urządzeń.

Wykorzystywanie w technice pomiarów czasu zjawisk fizycznych w miarę ich odkrywania (np. wahadło, balans, kamerton, rezonator piezoelektryczny, układy mikroelektroniczne, wskaźniki ciekłokrystaliczne itd.) pozwala uzyskiwać coraz to lepsze właściwości metrologiczne i użytkowe zegarów i zegarków. Ocenia się, że rozwój techniki zegarowej w ostatnich 30 latach był większy niż przed rokiem 1960 w ciągu 300 lat.

Stosowane obecnie zegary i zegarki powszechnego użytku można podzielić według ich zasady działania na:

- mechaniczne (z regulatorem wahadłowym lub balansowym),
- elektromechaniczne (z regulatorem wahadłowym, balansowym lub kamertonowym),
- elektroniczno-mechaniczne (z rezonatorem kwarcowym i elektromechanicznym analogowym urządzeniem wskazującym),
- elektroniczne (z rezonatorem kwarcowym i cyfrowym urządzeniem wskazującym - ciekłokrystalicznym lub z diodami świecącymi).

Obecnie łączna produkcja zegarów i zegarków na świecie wynosi ok. 600 mln. sztuk rocznie. Szacuje się, że 90 % tej produkcji to zegary i zegarki kwarcowe (pomimo ciągłego wzrostu produkcji liczba zatrudnionych w tym przemyśle maleje).

#### 3.1. Zegary i zegarki mechaniczne

Po wyraźnym spadku w latach 80, obecnie produkcja mechanicznych zegarków naręcznych ponownie wzrasta. Produkcję tę w dalszym ciągu utrzymują takie renomowane szwajcarskie firmy, jak: "PATEK", "ROLEX", "OMEGA", a ostatnio także rekonstruowana firma "A. LANGE & SÖHNE" w Glasshütte (RFN). Są to przeważnie zegarki z tzw. automatycznym naciąganiem. Główną ich zaletą są duża trwałość i niezawodność oraz niskie koszty eksploatacji. Dobrze prosperują także firmy produkujące zegary pseudoantyczne, np. firma "JUNG-HANS" (RFN) lub "METRON" (Polska).

#### 3.2. Zegary i zegarki elektromechaniczne

W grupie tej najczęściej spotykane są mechanizmy zegarowe z regulatorem balansowym i kamertonowym. Zegarki naręczne z elektrycznym napędem balansu nie wykazują istotnych zalet w porównaniu z zegarkami mechanicznymi z automatycznym naciąganiem. Zegarki z regulatorem kamertonowym są natomiast znacznie dokładniejsze od balansowych, jednak są one dość kosztowne ze względu na duże trudności technologiczne w ich produkcji (zwłaszcza

trudne jest do wykonania koło zapadkowe służące do zliczania drgań kamertonu: ma ono 300 zębów przy średnicy wynoszącej 2,5 mm).

Produkcja obu rodzajów zegarków została zakończona już w latach 80, a tylko w niektórych krajach produkowane są jeszcze elektromechaniczne (balansowe) zegary domowe i samochodowe.

### 3.3. Zegary i zegarki kwarcowe (elektroniczno-mechaniczne i elektroniczne)

W pierwszych zegarach i zegarkach kwarcowych powszechnego użytku - częstotliwość drgań rezonatora wynosiła 8,192 kHz. Obecnie najczęściej stosuje się częstotliwości:

- w zegarkach naręcznych 32,768 kHz
- w zegarach 4,194.304 MHz

Jako urządzenia zliczające impulsy elektryczne otrzymywane z generatora kwarcowego stosuje się:

- w zegarach i zegarkach z analogowym wskazywaniem czasu - silnik skokowy napędzający wskazówki za pośrednictwem zębatej przekładni redukcyjnej (zalety: łatwy odczyt wskazań, duża niezawodność, estetyczny wygląd),
- w zegarach i zegarkach ze wskaźnikami cyfrowymi - licznik elektroniczny z dekoderm sterującym wskazaniem wskaźnika (zalety: bezpośredni cyfrowy odczyt wskazań, mała powierzchnia wskaźnika przy dobrej czytelności; wady: wrażliwość na udary, mała niezawodność działania, ograniczona trwałość).

Obecnie coraz więcej wytwórni zegarów i zegarków stosuje kombinowane ("hybrydowe") urządzenia wskazujące - analogowo-cyfrowe.

## 4. DZIŚ ZEGARY KWARCOWE - CO BĘDZIE JUTRO ?

Na powyższe pytanie odpowiedź jest następująca: W najbliższej przyszłości podstawowym miernikiem czasu w życiu codziennym będzie w dalszym ciągu zegar (zegarek) kwarcowy - jednak znacznie udoskonalony. Stwierdzenie to można uzasadnić następująco:

- 1) Do tej chwili nie zostało odkryte nowe zjawisko fizyczne, które mogłoby zastąpić rezonator kwarcowy w miernikach czasu dostosowanych do powszechnego użytku.
- 2) Dotychczasowe propozycje zastąpienia generatora kwarcowego przez inne generatory zjawisk okresowych (np. fale elektromagnetyczne emitowane przez energetyczną sieć prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz, lub 60 Hz - w USA, gdzie takie rozwiązania uzyskały patenty) - nie znalazły szerszego zastosowania.
- 3) Obecnie produkowane w skali masowej generatory kwarcowe stosowane w zegarach i zegarkach powszechnego użytku są wystarczająco dokładne, a ich koszty produkcji są już bardzo małe - a więc nie zachodzi potrzeba poszukiwania nowych rodzajów mierników czasu.

## 5. WSPÓŁCZESNE TENDENCJE ROZWOJOWE ZEGARÓW I ZEGARKÓW KWARCOWYCH

Pojawiające się coraz to nowe rozwiązania konstrukcyjne mechanizmów zegarowych z rezonatorem kwarcowym mają na celu przede wszystkim stworzenie dalszych udogodnień dla ich użytkowników, a tym samym zachęcić do kupna coraz to nowszych, doskonalszych od dotychczas używanych zegarów czy zegarków.

Można zauważyć następujące kierunki zmian w konstrukcji zegarów i zegarków kwarcowych:

- 1) Dalsze zwiększenie dokładności działania:
  - przez zwiększenie częstotliwości drgań rezonatora (np. chronometr okrętowy naręczny firmy "OMEGA": 2,097.152 MHz),
  - przez zastosowanie kompensacji wpływów zewnętrznych, zwłaszcza zmian temperatury (np. układ z dwoma rezonatorami kwarcowymi, stosowany w zegarkach firmy "OMEGA" kal. 1441),
  - przez zastosowanie synchronizacji radiowej z wzorcowym zegarem atomowym (np. zegary i zegarki MEGA firmy "Junghans" - synchronizowane z nadajnikiem DCF 77 znajdującym się we Frankfurcie n/ Menem),
- 2) Skonstruowanie rezonatora kwarcowego o dużej odporności na uderzenia (w kształcie kamertonu),
- 3) Zmniejszenie kosztów produkcji (przy zachowaniu określonej dokładności działania) przez zastosowanie nowych rozwiązań układów generatorów kwarcowych, a także nowych rozwiązań konstrukcyjnych mechanizmów zliczających impulsy na wyjściu generatora i urządzeń wskazujących odmierzany czas:
  - w generatorach kwarcowych: do masowo produkowanego i niezbyt dokładnie dostrojonego generatora kwarcowego (jednak o nieco wyższej częstotliwości od nominalnej 32.768 Hz) przyłącza się programowalny dzielnik częstotliwości, którego działanie polega na wygubianiu impulsu co pewną liczbę cykli;
  - zmiana (odejście od tradycyjnej) konstrukcji mechanizmu zegarka (np. w zegarkach firmy "Swatch" obudowa stanowi jednocześnie korpus mechanizmu).
- 4) Poszukiwanie nowych źródeł energii do zasilania zegarów i zegarków:
  - baterie litowe,
  - baterie "słoneczne" - ładujące kondensator o dużej pojemności i bardzo małej upływności ładunku elektrycznego,
  - zastosowanie miniaturowych prądnic napędzanych specjalnym bezwładnikiem (podobnie jak w zegarkach mechanicznych z automatycznym naciąganiem sprężyny) ładujących kondensator.
- 5) Zastosowanie układów zasilających silniki skokowe dostosowujących dostarczaną moc do chwilowego obciążenia silnika (tzw. inteligentnych układów napędowych), np. w zegarkach firmy "OMEGA" kal. 1430, co wydatnie zmniejsza średni pobór energii z baterii.

Niezależnie od wymienionych tendencji bardzo duży wysiłek producentów zegarów i zegarków skierowany jest na estetykę wystroju zewnętrznego ich wytworów (zatrudnianie wybitnych projektantów wzornictwa przemysłowego) oraz stosowanie nowych, tzw. ekologicznych materiałów, jak np. tytan, spieki ceramiczne, naturalna skała granitowa lub specjalnie dobrane tworzywa sztuczne. Swój własny, oryginalny styl osiągnęły np. firmy:

"OMEGA" (De Ville, Seamaster, Constellation), "RADO", "Junghans" i inne. W ostatnich latach również znana paryska firma "Pierre Balmain", dotychczas zajmująca się modnymi ubiorami, wprowadziła na rynek (we współpracy ze szwajcarskim stowarzyszeniem producentów zegarków - SMH) własne zegarki o oryginalnym wystroju zewnętrznym.

## 6. FUNKCJE POMOCNICZE SPEŁNIANE PRZEZ ZEGARY I ZEGARKI

Oprócz podstawowej funkcji - odmierzania i wskazywania czasu, ewentualnie też dźwiękowej sygnalizacji jego upływu - zegary i zegarki mogą spełniać również inne funkcje, np.:

- a) funkcje estetyczne:
  - elementem dekoracyjnym wnętrza lub budynków,
  - elementem spełniającym wymogi mody (znaczenie ma tu nie tylko wygląd zewnętrzny, ale także wymiary, tj. średnica i grubość mechanizmu),
- b) funkcje reprezentacyjne, podobnie jak np. samochód (a więc znaczenie ma tu firma i cena zegarka, np. "Patek", "Rolex" i inne),
- c) zaspokajanie oczekiwań hobbistycznych, np. bardzo dobre właściwości metrologiczne (duża dokładność),
- d) kolekcjonowanie zegarów i zegarków określonych typów (np. zegary szwarcwaldzkie) lub określonych marek (np. zegarki firmy "Swatch"),
- e) lokata kapitału; w tym przypadku o wartości zegarka decydują nie tylko jego właściwości metrologiczne, ale również firma oraz materiał obudowy i jej elementy dekoracyjne),
- f) różne funkcje użytkowe wynikające z dodatkowego wyposażenia zegara lub zegarka, np. kalkulator, urządzenie alarmowe, urządzenie do mierzenia ciśnienia tętniczego i wiele innych; te dodatkowe funkcje często okazują się ważniejsze od funkcji podstawowej (pomiar czasu), dlatego mają one zasadniczy wpływ na rozwiązania konstrukcyjne mechanizmów zegarowych.

Jednocześnie coraz częściej zegary i zegarki kwarcowe (ze wskazaniami cyfrowymi) wbudowuje się do różnych przedmiotów codziennego użytku, takich jak: długopisy, kalkulatory, odbiorniki radiowe, zapalniczki itp.



Na zakończenie warto jeszcze wspomnieć o jednym z najbardziej w Polsce znanych zegarów: o zegarze na wieży Zamku Królewskiego w Warszawie. Pierwszy zegar na wieży zamkowej został zbudowany w 1622 roku. Podczas pożaru Zamku w dniu 17 września 1939r. zegar zatrzymał się na godzinie 1115, a w 1944 r. wraz z Zamkiem uległ całkowitemu zniszczeniu. Obecnie działający nowy zegar na Wieży Zygmuntońskiej został uruchomiony w dniu 19 lipca 1974 roku, również o godz. 1115 (jego bicie o północy jest nadawane każdej nocy w programie I PR). Był on pierwszym całkowicie ukończonym i działającym urządzeniem w odbudowywanym Zamku. Jednak dla wielu ludzi, zwłaszcza biorących udział w odbudowie Zamku, był on czymś więcej niż tylko "działającym urządzeniem". W ich

odczuciach, z chwilą uruchomienia zegara wieżowego, po 35-letniej przerwie, do Zamku wróciło życie. Zegar ten, oprócz odmierzenia i sygnalizowania upływającego czasu, spełnia więc jeszcze inny, nie wymieniony powyżej, rodzaj funkcji: ma on również znaczenie pewnego symbolu.

#### LITERATURA

- [1] Glaser G.: Handbuch der Chronometrie und Uhrentechnik. Band II u. III. Stuttgart. Kempfer-Verlag, 1983
- [2] Kartaschoff P.: Częstotliwość i czas. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1985
- [3] Mrugalski Z.: Mechanizmy zegarowe. WNT, Warszawa, 1972
- [4] Mrugalski Z.: Zespoły funkcjonalne urządzeń zegarowych i tachometrycznych. Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1991
- [5] PN-66/N-02051. Metrologia czasu (chronometria). Nazwy i określenia
- [6] PN-82/N-02051 (projekt). Metrologia czasu (chronometria). Terminologia. 1) Definicja sekundy przyjęta na XII Generalnej Konferencji Miar obowiązuje również w Polsce (zarządzenie Prezesa CUJM w sprawie nowej definicji sekundy - Monitor Polski Nr 25 z dn. 17.4.1971 r.)

Recenzent: prof. dr hab. inż. E. Świtoński

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1994 r.