

Pomiary czasu i częstotliwości w Polsce i na świecie w latach 1919–2009

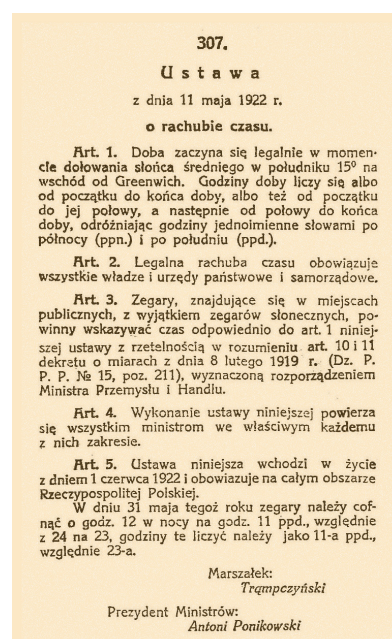
W ciągu ostatnich 90-ciu lat dokonał się ogromny postęp w dziedzinie precyzyjnych pomiarów czasu – poziom dokładności pomiarów czasu w Polsce i na świecie zmienił się o 6 rzędów wielkości: z poziomu milisekund do poziomu nanosekund. Jest to wynik ogromnego zapotrzebowania na wiarygodną i dokładną informację o czasie – początkowo głównie dla potrzeb nawigacji morskiej, czy zwykłej regulacji transportu publicznego i komunikacji, a w końcu w licznych zastosowaniach nawigacji satelitarnej, łączności przewodowej i bezprzewodowej, teleinformatyce, bezpieczeństwie operacji finansowych, energetyce i praktycznie w każdym obszarze funkcjonowania państwa i społeczeństwa. Przed Głównym Urzędem Miar, od początku jego istnienia, stało i nadal stoi zadanie wychodzenia naprzeciw tym potrzebom i dbałości o rozwój tej dziedziny.

Czas astronomiczny

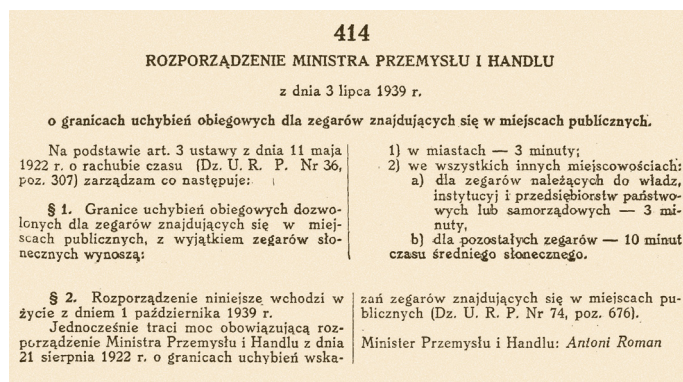
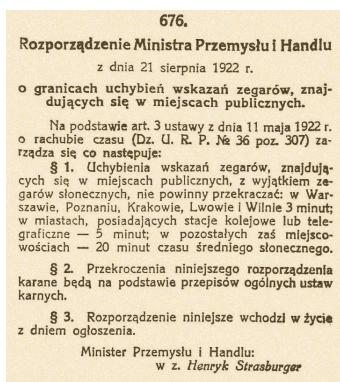
W 1919 roku, kiedy powstawał Główny Urząd Miar, podstawową jednostkę czasu, sekundę, definiowano jako 1/60 część 1/60 części 1/24 części średniej doby słonecznej – uśrednionej wartości doby słonecznej dla okresu jednego roku. Konieczność zastosowania w ówczesnej definicji sekundy pojęcia średniej doby słonecznej było konsekwencją zmiennej prędkości ruchu wirowego, jaki wykonuje Ziemia obracając się wokół swojej osi podczas trwającej rok wędrówki dookoła Słońca. Zmiany w prędkości ruchu wirowego Ziemi są skutkiem niewielkiego spłaszczenia prawie kołowej orbity Ziemi, przez co obserwowana długość doby słonecznej w ciągu roku waha się w granicach ok. ± 30 sekund w stosunku do 24 godzinnej średniej doby słonecznej.

Regulacje prawne w okresie międzywojennym Ustawa o rachubie czasu

Powiązanie rachuby czasu z obserwacjami astronomicznymi znalazło odbicie w *Ustawie z dnia 11 maja 1922 r. o rachubie czasu* (Dz. U. z 1922 r., Nr 36, poz. 307) (Ilustr. 1), w której początek doby odniesiono do „momentu dołowania słońca średniego w południku 15° na wschód od Greenwich”, i wydanych na jej podstawie rozporządzeniach (*Rozporządzenia Ministra Przemysłu i Handlu o granicach uchybień wskazań zegarów w miejscach publicznych z 1922 r. i 1939 r.* Dz. U. z 1922 r., Nr 74, poz. 676 i Dz. U. z 1939 r., Nr 62, poz. 414) (Ilustr. 2). Znamienne jest, że dopuszczalne granice uchybień wskazań zegarów znajdujących się w miejscach publicznych, oczywiście za wyjątkiem zegarów słonecznych, uzależnione były początkowo od lokalizacji w miastach lub ich pobliżu:



Ilustr. 1. Ustawa o rachubie czasu z 1922 r.



Ilustr. 2. Rozporządzenia o granicach uchybień wskazań zegarów, znajdujących się w miejscach publicznych z 1922 i 1939 roku

- obserwatoriów astronomicznych, zwykle wyposażonych w precyzyjne zegary niezbędne do prowadzenia dokładnych obserwacji oraz
 - stacji kolejowych i telegraficznych.
- Wiązało się to nie tylko ze sposobem dystrybucji informacji o czasie, ale i z jednym z podstawowych zastosowań zgodnego na danym obszarze czasu: zapewnienia funkcjonalności i bezpieczeństwa transportu publicznego oraz obiegu wymiany informacji. Miało to również znaczenie dla bezpieczeństwa państwa.

Precyzyjne zegary mechaniczne (wahadłowe)

W okresie pomiędzy I i II wojną światową, i jeszcze przez następnych prawie 30 lat, głównym odniesieniem dla precyzyjnych pomiarów czasu i częstotliwości były długookresowe obserwacje astronomiczne wzajemnego ruchu Ziemi, Słońca i Księżyca, a także pozostałych planet układu słonecznego. W Polsce, podobnie jak w innych krajach, zegary służyły wtedy do przechowywania informacji o czasie pomiędzy okresami, dla których znane były wyniki obserwacji astronomicznych, i ułatwiały prowadzenie precyzyjnych obserwacji astronomicznych. Początkowo były to głównie zegary mechaniczne o napędzie elektrycznym, które – w celu uzyskania wysokiej dokładności i równomierności odmierzanego czasu – wymagały stabilnych warunków pracy i zminimalizowania wpływu zakłóceń zewnętrznych, a zwłaszcza drgań i wstrząsów mechanicznych oraz zmian temperatury i ciśnienia. Osiągnano to poprzez umieszczanie zegarów na ścianach, specjalnie do tego celu budowanych, niepowiązanych z resztą budynku, potężnych betonowych postumentów sięgających nawet na kilkanaście metrów w głąb ziemi. Dodatkowo stosowano specjalizowane osłony i obudowy oraz układy kompensujące, przynajmniej częściowo, wpływ zmian temperatury i ciśnienia atmosferycznego. Stosowano także szczelne hermetyczne obudowy utrzymujące wewnątrz, w obszarze pracy wahadła i bezpośrednio powiązanej z nim części mechanicznej zegara, stałe pod- lub nadciśnienie. Brak w tamtych czasach współczesnych typowych układów elektrycznych, zasilaczy i innych elementów grzejnych o większej mocy powodował, że temperaturę w pomieszczeniach z zegarami można było utrzymywać na niezmiennym poziomie poprzez regulację liczby włączonych i wyłączonych żarówek w oświetleniu, minimalizując w ten sposób wpływ dobowych i sezonowych zmian warunków termicznych wewnątrz i na zewnątrz budynku.

Precyzyjny zegar Shortta

W najdokładniejszym zegarze mechanicznym, skonstruowanym w 1921 roku, zegarze Shortta – składającym się w istocie z dwu zegarów wahadłowych: zegara głównego, tzw. ma-

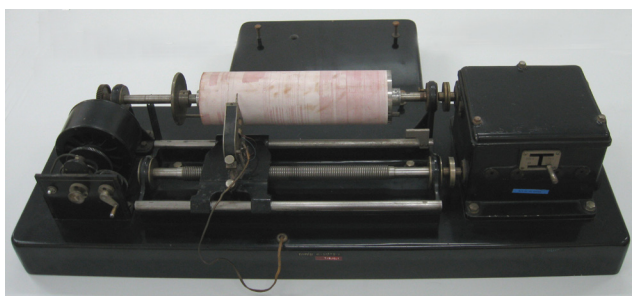


Ilustr. 3. Obecnie działający zegar Shortta w Olsztyńskim Planetarium i Obserwatorium Astronomicznym. Po lewej stronie: zegar główny, pośrodku: zegar pomocniczy z układem tarcz i wskazówek, po prawej: źródło zasilania zegara i pozostałości po ręcznej pompie próżniowej (fot. Olsztyńskie Planetarium i Obserwatorium Astronomiczne)

ster clock, i zegara pomocniczego, tzw. secondary lub slave clock – wahadło zegara głównego umieszczone było w szczelnie zamkniętym miedzianym cylindrze zamkniętym szklaną kopułą, z którego wypompowywano powietrze (Ilustr. 3). Osiągnięto w ten sposób stan niewysokiej próżni (ok. 25 mmHg), który pozwalał na prawie swobodny ruch inwaryjnego wahadła, z minimalnym udziałem pozostałego wewnątrz powietrza. Zegar główny nie posiadał ani tarczy, ani wskazówek, gdyż miał za zadanie odmierzać jak najdokładniej pojedyncze sekundy, natomiast połączony z nim elektrycznie zegar pomocniczy, posiadający już pełny mechanizm zegarowy i układy generujące impulsy elektryczne niezbędne do prowadzenia skali czasu¹⁾ i porównywania wskazań zegarów, był synchronizowany do zegara głównego. Dzięki temu praca zegara głównego była zakłócana jedynie przez podawane co 30 s – dokładnie w momencie przejścia wahadła zegara głównego przez położenie równowagi – delikatne impulsy elektryczne, mające na celu podtrzymanie ciągłości ruchu wahadła, a jednocześnie synchronizujące ruch wahadła zegara pomocniczego. Równomierność odmierzanego czasu przez taki tandem zegarów przekraczała nawet 0,1 sekundy na rok i pozwoliła już zauważyć nieregularności w ruchu wirowym i obiegowym Ziemi dookoła Słońca.

Pierwsze precyzyjne zegary w Głównym Urzędzie Miar

Prawdopodobnie w latach 1927–28 do Głównego Urzędu Miar zostały sprowadzone i rozpoczęły pracę pierwsze precyzyjne zegary: dwa zestawy zegara Shortta (Nr 14 i drugi o obecnie nieznanym numerze) zainstalowane później – dopiero tuż po II wojnie światowej – na ścianach specjalnie do tego celu wybudowanego potężnego betonowego postumentu oddzielonego od reszty budynku. Różnice wskazań między zegarami mierzone były za pomocą chronografu poprzez pomiar przedziału czasu między generowanymi przez zegary co 1 s impulsami elektrycznymi. Chronograf był urządzeniem składającym się z:



Ilustr. 4. Chronograf – urządzenie do porównywania wskazań zegarów poprzez pomiar położenia śladów na obracającym się wałku z taśmą pozostawionych przez rysik sterowany elektrycznymi impulsami sekundowymi z zegarów. Z lewej strony znajduje się silnik synchroniczny sterowany sygnałami elektrycznymi z zegara odniesienia, a po prawej: miniaturowa „skrzynia biegów” do regulacji prędkości przesuwu rysika wzdłuż osi wałka (na zdjęciu „nowsza” wersja chronografu stosowanego w GUM po II wojnie światowej)

¹⁾ Stosowane w metrologii czasu i częstotliwości pojęcie prowadzenia skali czasu oznacza proces ciągłego odmierzania czasu za pomocą znaczników czasu od ustalonego momentu początkowego (epoki początkowej). Słowo „prowadzenie” podkreśla stałe aktywne oddziaływanie na ten proces poprzez celowe regulacje prowadzonej skali czasu.

- napędzanego silnikiem synchronicznym wałka o dokładnie znanej średnicy i z nastawianą skokowo prędkością obrotu,
 - podawanej na wałek specjalnej taśmy i
 - sterowanego mierzonymi sygnałami elektrycznymi rysika, pisaka lub iskrownika,
- co umożliwiało rejestrację na taśmie kolejnych śladów porównywanych sekundowych sygnałów elektrycznych (Ilustr. 4). Odnosząc odczytane położenia i odległości między odpowiednimi śladami na taśmie do prędkości przesuwu taśmy lub odległości między śladami pozostawionymi przez kolejne impulsy sekundowe z zegara odniesienia, można było wyznaczyć z rozdzielczością nawet do 1 ms wartość mierzonego przedziału czasu, który odpowiadał bieżącej różnicy wskazań porównywanych zegarów²⁾.

Raport z 1935 roku

W 1935 roku odbyło się posiedzenie informacyjne przedstawicieli instytucji państwowych w Polsce zainteresowanych usprawnieniem służby czasu dla swoich potrzeb. Wg zebranych wówczas informacji:

- Główny Urząd Miar w Warszawie posiadał dwa zegary precyzyjne Shortta porównywane wzajemnie i z zagranicznymi (radiowymi) sygnałami czasu,
- Biuro Pomiarowe Ministerstwa Komunikacji posiadało w Borowej Górze zegar precyzyjny Leroy³⁾, korzystający z zagranicznych sygnałów czasu,
- Państwowy Instytut Meteorologiczny posiadał w Gdyni dwa precyzyjne zegary Rieflera⁴⁾ (Ilustr. 5), pracujące pod zmniejszonym ciśnieniem, stosowane do obsługi marynarki i kontrolowane za pomocą zagranicznych sygnałów czasu,
- Państwowy Instytut Telekomunikacyjny w Warszawie przy ul. Ratuszowej posiadał zegar – kamertonowy wzorzec częstotliwości⁵⁾ (Ilustr. 6), kontrolowany za pomocą porównań z zegarami w Głównym Urzędzie Miar,
- Wojskowy Instytut Geograficzny w swoich pracach astronomiczno-geodezyjnych korzystał wyłącznie z zagranicznych sygnałów czasu.

Obserwatoria astronomiczne w Krakowie, Poznaniu, Wilnie czy Lwowie prawdopodobnie też posiadały precyzyjne zegary do prowadzenia obserwacji astronomicznych⁶⁾. Zagraniczne radiowe sygnały czasu, za pośrednictwem których porównywane były zegary w ówczesnej Polsce, kontrolowane były przez Międzynarodowe Biuro Godziny w Paryżu, które na podstawie analizy gromadzonych wyników obserwacji astronomicznych z opóźnieniem kilku miesięcy ogłaszało poprawki dla poszczególnych sygnałów czasu.

Zegary kwarcowe

Niedługo potem, bowiem już w 1938 roku, w Głównym Urzędzie Miar rozpoczął pracę pierwszy w Polsce zegar kwarcowy, skonstruowany przez Państwowy Instytut Telekomunikacyjny w Warszawie, co miało miejsce 9 lat po zbudowaniu pierwszego na świecie zegara kwarcowego w Laboratorium Bella w USA. Główną częścią pierwszych tego typu zegarów był podwójnie termostatowany kryształ kwarcu, o częstotliwości drgań własnych ok. 100 kHz, z którego sygnał był

²⁾ Współczesną odmianą urządzenia działającego na podobnej zasadzie jest chronokomparator analogowy do badania zegarów mechanicznych i elektronicznych.

³⁾ Zegar wahadłowy pracujący pod zmniejszonym ciśnieniem.

⁴⁾ Zegar wahadłowy pracujący typowo pod zwiększonym ciśnieniem.

⁵⁾ Mechanizm zegarowy poruszany jest przez drgający ciągle kamerton.

⁶⁾ Obecnie autor nie dysponuje dokładnymi informacjami na ten temat.



Ilustr. 6. Zegar kamertonowy. Zamiast ruchu wahadła, mechanizm zegarowy napędzany był podtrzymywanymi elektrycznie drganiami kamertonu o częstotliwości 100 Hz. Tego typu zegary służyły do precyzyjnych pomiarów czasu i stanowiły jednocześnie wzorzec częstotliwości, użył go również Michelson do pomiaru prędkości światła w 1882 roku (źródło: http://www.phys.cwru.edu/ccpi/Fork_clock/Fork_clock.jpg)

Ilustr. 5. Precyzyjny zegar Rieflera. Ruch wahadła podtrzymywany był elektrycznie. Okres wahań regulowano ciśnieniem powietrza wewnątrz hermetycznej obudowy zegar. Zwiększanie ciśnienia spowalniało ruch wahadła, zmniejszanie – przyspieszało (źródło: <http://www.clockvault.com/heritage/index.htm>)



przekazywany do części zegarowej sterowanej elektrycznym silnikiem synchronicznym oraz do układów generujących elektryczne sygnały czasu. Część zegarowa była z kolei złożonym mechanicznym układem wielu przekładni i kół zębatych. Dokładność najlepszych tego typu zegarów kwarcowych sięgała początkowo ok. 1 ms na dobę (1 sekunda na 3 lata), aby w coraz doskonalszych konstrukcjach, już pozbawionych mechanicznej części zegarowej, coraz mniejszych i w pełni elektronicznych, osiągnąć współcześnie poziom ok. 1 μ s na dobę (1 sekunda na 3 tys. lat) przy spełnieniu odpowiednich warunków. Zegary kwarcowe jako główne wzorce czasu i częstotliwości pracowały w Głównym Urzędzie Miar do końca lat 60. ubiegłego stulecia (Ilustr. 7 i 8). Ze względu na głośny wysoki świszczący dźwięk o częstotliwości ok. 1 kHz wydawany przez silniki synchroniczne i przekładnie mechanicznej części zegarowej, przebywanie w ich pobliżu nie należało do przyjemności.

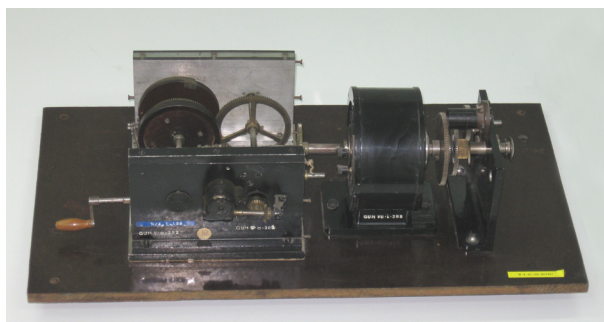
Zegary atomowe

W 1976 roku, prawie 10 lat po przyjęciu przez Generalną Konferencję Miar w 1967 roku atomowej definicji sekundy opartej na przejściach kwantowych w atomach cezu 133, w Głównym Urzędzie Miar zaczął pracę pierwszy cezowy zegar atomowy (Ilustr. 9). W kolejnych latach sukcesywnie dołączały do niego nowe zegary atomowe, na trwale potwierdzając w Polsce zmianę koncepcji odmierzania czasu. Była to bardzo istotna zmiana, ponieważ bardzo długie przedziały czasu uzyskiwane z obserwacji astronomicznych przestały być uznawane za wzorcowe, natomiast wzorcowymi przedziałami czasu stały się bardzo krótkie okresy promieniowania w atomach cezu.



Ilustr. 7. Zegary kwarcowe i urządzenia do generacji elektrycznych sygnałów czasu w Głównym Urzędzie Miar (zdjęcie wykonano prawdopodobnie w latach 60. XX w.)

Ilustr. 8. Urządzenie do generacji elektrycznych sygnałów czasu (wciągnięte na stan Głównego Urzędu Miar w 1950 roku), współpracujące z zegarem kwarcowym z mechaniczną częścią zegarową



Ilustr. 9. Pierwszy cezowy zegar atomowy w Polsce. Posiada jeszcze 24-godziną tarczę ze wskazówkami Pracował w Głównym Urzędzie Miar w latach 1976–1995

W cezowym zegarze atomowym, i praktycznie w każdym innym zegarze atomowym, źródłem wyjściowych wzorcowych sygnałów czasu i częstotliwości jest dobrze wystarzony, termostатовany, kontrolowany elektrycznie kryształ kwarcu. Realizowane w zegarach cezowych sprzężenie pomiędzy przejściami kwantowymi a drganiami elektromechanicznymi kryształu kwarcu opiera się na powielaniu częstotliwości podstawowej drgań kwarcu precyzyjnie do wartości mi-

krofalowej $9\,192\,631\,770\text{ Hz}$, a następnie na podawaniu tej częstotliwości na wnękę rezonansową tuby cezowej i wykorzystaniu zjawiska rezonansu zachodzącego w atomach cezu wewnątrz tuby cezowej w obszarze, do którego wprowadzane są atomy cezu w niższym stanie energetycznym. Im częstotliwość mikrofalowego sygnału podawanego na wnękę rezonansową jest bliższa wartości nominalnej, tym więcej atomów cezu przechodzi do wyższego stanu energetycznego i uzyskuje się silniejszy sygnał z tuby cezowej, a im jest dalsza od wartości nominalnej, tym jest sygnał słabszy. Układy wewnętrzne zegara tak sterują częstotliwością kwarcu, aby utrzymywać stan, w którym sygnał z tuby cezowej jest najsilniejszy. W ten sposób wszystkie wzorcowe sygnały uzyskiwane z przetwarzania częstotliwości generowanej przez kryształ kwarcu, uzyskują prawie dokładność i stabilność przejść kwantowych w atomach cezu. Słowo „prawie” oznacza obecnie w tym przypadku stabilność na poziomie ok. 1 ns na dobę (1 sekunda na 3 mln lat). Całkowity

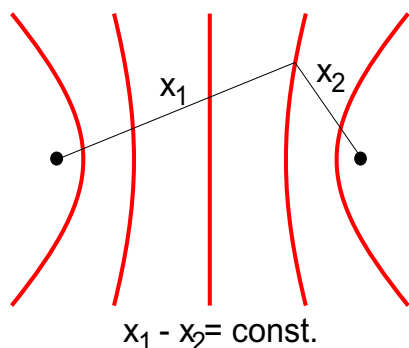
czas pracy zegara cezowego uzależniony jest głównie od wielkości źródła atomów cezu – w dostępnych komercyjnie zegarach cezowych o podwyższonej dokładności wystarcza ono obecnie na ok. 9 lat ciągłej pracy.

Porównania wskazań zegarów

Ze względu na ciągły upływ czasu, dynamiczny charakter pracy każdego zegara, a także wrażliwość zegarów na stabilność warunków zewnętrznych, zegary wymagają utrzymywania w ciągłej pracy i stałej weryfikacji wskazań. W przypadku zegarów mechanicznych wahadłowych i zegarów kwarcowych ze złożoną częścią zegarową, transport nieprzerwanie działającego zegara bez zakłócenia jego pracy był nieuzasadniony i praktycznie niemożliwy. Porównania lokalne, poprzez bezpośredni pomiar przedziału czasu między generowanymi przez zegary impulsowymi elektrycznymi sygnałami sekundowymi, również nie były wystarczające do pełnej weryfikacji poprawności pracy zegara. Dopiero ciągłe zdalne porównania międzynarodowe i krajowe zegarów pozwoliły i pozwalają do dnia dzisiejszego na aktualizowanie poprawek do wskazań precyzyjnych zegarów – wzorców czasu i częstotliwości. Do tego celu stosowano początkowo zwykle radiowe sygnały czasu, a później bardziej precyzyjne sygnały z sieci naziemnych nadajników radionawigacyjnych lub nadajników telewizyjnych, a w końcu sygnały z systemów nawigacji satelitarnej. Radiowe sygnały czasu w porównaniach zdalnych pozwalały osiągnąć poziom dokładności ok. 1 ms, co dla zegarów mechanicznych było w zupełności wystarczające. Sygnały z naziemnych systemów radionawigacyjnych, które zaczęły powstawać od czasu II wojny światowej, pozwalają już osiągnąć poziom dokładności ok. 1 μ s. Wreszcie wykorzystanie obecnie powszechnie dostępnych sygnałów z satelitarnych systemów nawigacyjnych, głównie z systemu GPS, umożliwia już osiągnięcie poziomu dokładności kilku ns, podczas gdy wykorzystanie geostacjonarnych satelitów radiokomunikacyjnych czy sieci światłowodowej pozwala osiągnąć poziom dokładności lepszy niż 1 ns.

Naziemne systemy radionawigacyjne i metoda telewizyjna

Naziemne systemy radionawigacyjne są to tzw. systemy nawigacji hiperbolicznej oparte na rozmieszczonych na całej kuli ziemskiej sieci zsynchronizowanych nadajników niskich częstotliwości (do ok. 100 kHz). Określenie „hiperboliczna” wywodzi się z faktu, że zbiór punktów, odpowiadający stałemu przesunięciu czasowemu nawigacyjnych sygnałów radiowych odbieranych z dwu różnych nadajników, tworzy na powierzchni hiperbolę (odpowiednio w przestrzeni: hiperboloidę obrotową). Stała różnica dróg radiowych sygnałów odbieranych z danej pary nadajników



Ilustr. 10. Ilustracja zasady działania nawigacji hiperbolicznej

radionawigacyjnych odpowiada stałej różnicy odległości punktów na hiperboli od jej ognisk, tj. punktów, w których znajdują się oba nadajniki (Ilustr. 10). Dla potrzeb metrologii czasu i częstotliwości wykorzystywano w przybliżeniu jednoczesną obserwację sygnału z wybranego nadajnika radiowego, czy radionawigacyjnego i pomiary fazy znacznika czasu w tym sygnale względem sygnału sekundowego z posiadanego przez laboratorium zegara. Do tego celu najszerzej był używany system nawigacji hiperbolicznej LORAN (LOng Range Aid to Navigation) – obecnie działająca wersja tego systemu nosi nazwę LORAN-C.

Stosowanie sygnałów systemów radionawigacyjnych i sygnałów radiowych o niskich częstotliwościach wymagało w Głównym Urzędzie Miar zainstalowania na dachu budynku szeregu anten, nawet o rozmiarach sięgających kilkudziesięciu metrów, aby uzyskać odpowiedni poziom sygnału w stosunku do szumu. Ze względu na łatwiejszą dostępność sygnałów telewizyjnych, do porównań zdalnych zegarów, zwłaszcza dla potrzeb krajowych, stosowano też metodę telewizyjną, która polegała na pomiarze o określonej godzinie jednoczesnej obserwacji przez laboratorium fazy pojawienia się 10-tej linii odchylenia poziomego w sygnale telewizyjnym względem sygnału sekundowego z porównywanego zegara. Pomiar telewizyjny w Głównym Urzędzie Miar wykonywane były o godz. 13:21 UTC (o 14:21 czasu zwykłego i o 15:21 czasu letniego) i dodatkowo o godz. 20:21 UTC. „Dziwna” pora pierwszego pomiaru była spowodowana pierwotnym brakiem nadawania sygnału telewizyjnego (Programu 1 TVP) w godzinach południowych.

Na początku lat 90-tych XX. w. były również prowadzone w Głównym Urzędzie Miar próby zastosowania do porównań międzynarodowych metody telewizyjnej przy użyciu sygnału telewizji satelitarnej RAI UNO, aby przy porównaniach na większe odległości uniknąć długiego łańcucha porównań za pośrednictwem szeregu nadajników różnych sygnałów telewizyjnych. Próby te zarzucono ze względu na udostępnienie sygnałów systemu GPS do zastosowań cywilnych i szybki rozwój technik transferu czasu z wykorzystaniem sygnałów nawigacji satelitarnej.

Metoda GPS CV

W Głównym Urzędzie Miar pierwszy jednokanałowy odbiornik GPS do transferu czasu metodą obserwacji jednoczesnych satelitów systemów nawigacyjnych (metoda GPS CV) zakupiono przed 1990 rokiem, a już siedem lat później, dzięki współpracy z Obserwatorium Astrogeodynamicznym Centrum Badań Kosmicznych PAN w Borowcu, zaczął pracę wielokanałowy system do transferu czasu TTS-2, umożliwiający jednoczesną obserwację do 8-miu satelitów systemu GPS. Również w 1997 roku rozpoczęto tworzenie w Polsce rozproszonej sieci porównań atomowych wzorców czasu i częstotliwości w oparciu o wielokanałowe odbiorniki GPS. Zaowocowało to stopniowym zwiększaniem liczby polskich zegarów uczestniczących w sposób ciągły w tworzeniu międzynarodowych atomowych skal czasu TAI i UTC oraz rozpoczęciem – oficjalnie od lipca 2001 roku – wyliczania niezależnej polskiej atomowej skali czasu TA(PL)⁷⁾.

W metodzie GPS CV, dzięki zastosowaniu ścisłego harmonogramu prowadzenia jednoczesnych obserwacji satelitów systemów nawigacyjnych oraz ustaleniu ujednoliczonego sposobu przeliczania surowych danych pomiarowych i formatu zapisu danych, te same dane pomiarowe z porównań lokalnego zegara w jednym laboratorium względem czasu realizowanego na danym satelicie nawigacyjnym mogą służyć do porównań z dowolną liczbą innych zegarów w innych laboratoriach porównywanych w ten sam sposób. Jedynym warunkiem jest dokonanie wspólnych obserwacji tego samego satelity o tej samej porze. W unowocześnionej wersji metody GPS CV, zwanej All-in-View, stosowanej przez Międzynarodowe Biuro Miar (BIPM) już nie jest konieczny wymóg posiadania wspólnych obserwacji satelitów, ponieważ wyniki pomiarów są odpowiednio uśredniane i interpolowane.

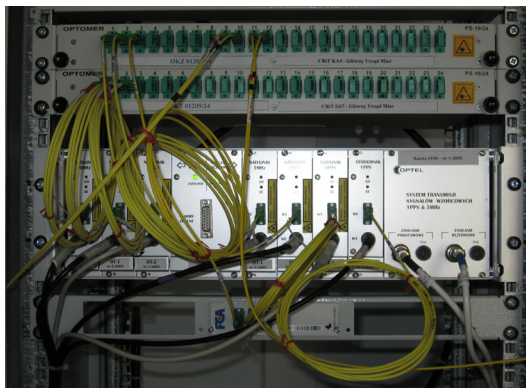
⁷⁾ Skale czasu mogą być realizowane przez fizyczne sygnały z zegara lub układu sterowanego sygnałem z zegara albo mogą być wyliczane w postaci poprawek do innych skal czasu. Niezależna polska atomowa skala czasu TA(PL) wyliczana jest aktualnie jako średnia ważona, ze wskazań polskich oraz litewskich i łotewskiego zegara, w formie „wirtualnych” poprawek do fizycznie realizowanej skali czasu UTC(PL) i skal czasu realizowanych przez poszczególne zegary.

Dzień dzisiejszy

Rok 2009 dla Głównego Urzędu Miar w dziedzinie metrologii czasu i częstotliwości to m.in.:

- członkostwo Polski w Komitecie Doradczym ds. Czasu i Częstotliwości (CCTF) Międzynarodowego Komitetu Miar (CIPM) – członkiem jest CBK PAN,
- 3 zegary cezowe i 1 maser wodorowy pracujące w Głównym Urzędzie Miar oraz 8 wzorców cezowych i 3 masery wodorowe pracujące w Polsce w innych instytucjach, uczestniczące w sposób ciągły w tworzeniu TAI i UTC oraz TA(PL),
- regionalna sieć porównań atomowych wzorców czasu i częstotliwości obejmująca również Litwę i Łotwę,
- prawie 5 lat funkcjonowania *Porozumienia o współpracy w zakresie tworzenia niezależnej Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL)* (podpisanego w dniu 3 grudnia 2004 r.),
- utrzymywanie głównej państwowej skali czasu UTC(PL) względem UTC typowo w granicach ± 50 ns,
- dystrybucja czasu urzędowego poprzez serwery NTP,
- uruchomienie światłowodowych dwukierunkowych porównań zegarów atomowych na linii Główny Urząd Miar – Telekomunikacja Polska SA (Ilustr. 11),
- wdrażanie bazodanowego systemu automatycznej archiwizacji i obróbki danych pomiarowych z krajowych i regionalnych porównań atomowych wzorców czasu i częstotliwości,
- a także synchronizacja sygnałami z zegarów atomowych państwowego wzorca napięcia elektrycznego stałego i państwowego wzorca długości.

Ostatnie słowo w tym zakresie nie zostało jeszcze powiedziane. Przed Głównym Urzędem Miar, podobnie jak przed innymi głównymi krajowymi instytucjami metrologicznym, stawiane są w tej dziedzinie nowe wyzwania m.in. związane z zegarami optycznymi, rozwojem algorytmów wyliczania skal czasu, rozwojem technik światłowodowych i satelitarnych, czy coraz większym znaczeniem synchronizacji czasu w różnego typu systemach dla bezpieczeństwa, konkurencyjności i zagwarantowania odpowiedniej jakości usług.



Ilustr. 11. Światłowodowy system dystrybucji wzorcowych sygnałów czasu i częstotliwości

Podziękowania

Główny Urząd Miar dziękuje Dyrekcji Olsztyńskiego Planetarium i Obserwatorium Astronomicznego za udostępnienie i wyrażenie zgody na zamieszczenie w prezentowanych materiałach zdjęć zegara Shortta. Podziękowania składam również byłym i obecnym pracownikom Laboratorium Czasu i Częstotliwości Głównego Urzędu Miar, w szczególności Pani Annie Organiściak, za cenne wskazówki, informacje i wszelką pomoc w gromadzeniu materiałów niezbędnych do powstania niniejszego artykułu.

dr Albin Czubla
kierownik Laboratorium Czasu i Częstotliwości
Zakładu Elektrycznego