

## Monitoring wzorców i pomiary długoterminowe

**Streszczenie.** Przedstawiony poniżej tekst opisuje problematykę zachowania spójności pomiarowej atomowych wzorców czasu w metrologii wojskowej. Zaprezentowano dostępne metody pomiarowe oraz opisano możliwości ich stosowania w metrologii wojskowej. Zaprezentowano autorskie oprogramowanie pozwalające na automatyczne porównywanie wzorców czasu i zapewnienie spójności pomiarowej jednostki czasu. Omówiono także zastosowanie technologii Internetu Rzeczy IoT do monitorowania parametrów wzorców z każdego miejsca na świecie.

**Abstract.** The paper describes the issues of maintaining the traceability of atomic time standards in military metrology. The available measurement methods were presented and the possibilities of their application in military metrology were described. Proprietary software was presented that allows for automatic comparison of time patterns and ensuring measurement coherence of the time unit. The use of the Internet of Things IoT technology to monitor pattern parameters from anywhere in the world was also discussed. (The issues of maintaining the traceability of atomic time standards in military metrology)

**Słowa kluczowe:** elektronika, metrologia czasu, IoT, Common-View.

**Keywords:** electronics, time metrology, IoT, Common-View.

### Wprowadzenie

Zachowanie spójności pomiarowej w laboratorium wzorcującym opierającym swój system zarządzania na podstawie normy PN-EN ISO/IEC 17025:2018-2 jest jednym z najważniejszych zadań. Spójność pomiarowa to: „właściwość wyniku pomiaru, przy której wynik może być związany z odniesieniem poprzez udokumentowany, nieprzerwany łańcuch wzorcowań, z których każde wnosi swój udział do niepewności pomiaru” [1]. Utrata spójności pomiarowej przez laboratorium powoduje utratę zaufania do uzyskiwanych wyników. Utrzymanie nieprzerwanego łańcucha wzorcowań pozwala na zachowanie spójności pomiarowej i jest najważniejszym zadaniem każdego wojskowego ośrodka metrologii.

Ogólne wymagania dotyczące spójności pomiarowej normy PN-EN ISO/IEC 17025:2018-2 wskazują:

#### „6.5 Spójność pomiarowa

6.5.1 Laboratorium powinno ustanowić i utrzymywać spójność pomiarową wyników pomiarów poprzez udokumentowany, nieprzerwany łańcuch wzorcowań, z których każda wnosi swój udział do niepewności pomiaru, wiążąc wyniki pomiarów z właściwym odniesieniem.” [2].

Spójność pomiarowa jest charakteryzowana między innymi przez:

- zachowanie nieprzerwanego łańcucha porównań do międzynarodowego lub państwowego wzorca pomiarowego;
- odniesienie do jednostek układu SI, wzorców pomiarowych odniesienia;
- odstępy czasu między wzorcowaniami.

Skutkiem wysłania wzorca do laboratorium wyższego rzędu w celu wykonania wzorcowania jest jego czasowe wycofanie z eksploatacji. Jeśli laboratorium wzorcujące znajduje się na terenie tego samego państwa, to możliwe jest zakończenie całego procesu w ciągu jednego miesiąca, w przypadku wysłania wzorców poza granice kraju, cały proces może wydłużyć się nawet do trzech miesięcy. W efekcie laboratorium jest pozbawione swojego wzorca przez 1/4 roku, i jeśli nie posiada wzorca zastępczego to nie może realizować swoich zadań przez cały ten czas. Drugim problemem jest fakt, że wzorec po wykonanej kontroli metrologicznej, już w trakcie eksploatacji może w sposób niezauważalny utracić swoje właściwości metrologiczne, przez co spójność pomiarowa zostanie utracona bez wiedzy personelu.

W niniejszym artykule została opisana realizacja zachowania ciągłej spójności pomiarowej atomowych

wzorców czasu z wykorzystaniem technologii IoT (ang. *Internet of Things*) oraz koncepcja rozszerzenia stosowania tej technologii we wszystkich wojskowych ośrodkach metrologii w Polsce.

### Metody pomiaru częstotliwości / parametrów źródeł wzorcowych

W niniejszym rozdziale zostaną opisane różne metody pomiaru parametrów źródeł częstotliwości wzorcowych wykorzystywane podczas wzorcowania wysokostabilnych, atomowych wzorców czasu.

#### Metoda licznikowa

Najprostszą metodą pomiaru częstotliwości jest metoda licznikowa, polegająca na pomiarze liczby impulsów sygnału w czasie otwarcia bramki (czas ten jest odmierzany poprzez zliczanie impulsów wewnętrznej lub zewnętrznej źródła częstotliwości wzorcowej). Precyzyjne liczniki, często nazywane timerami bądź miernikami odstępów czasu (time interval counter), dokonują pomiaru za pomocą metody odwrotnościowej - tj. odmierzają odcinek czasu, zawierający całkowitą liczbę okresów badanego sygnału, a następnie dokonują uśrednienia, co jest prezentowane jako wynik pomiaru okresu. Wynik w trybie pomiaru częstotliwości jest efektem matematycznej odwrotności  $f = 1/T$  [3]. Precyzyjny pomiar częstotliwości sygnału polega na dołączeniu do częstościomierza zewnętrznego źródła częstotliwości wzorcowej o znanej niepewności, a następnie bezpośredni pomiar częstotliwości badanego źródła. Ograniczeniem metody są m. in.: skończona rozdzielczość licznika, dodatkowe składniki niepewności pochodzące od niepewności wyzwalania (tj. chwili detekcji zliczenia impulsu - często jest to przejście z boczka sygnału przez poziom 0 V), szumy kanałów pomiarowych, niepewność sygnału wzorcowego częstościomierza kontrolnego, co w praktyce ogranicza wynikową niepewność pomiaru do rzędu  $1 \cdot 10^{-10}$  Hz/Hz.

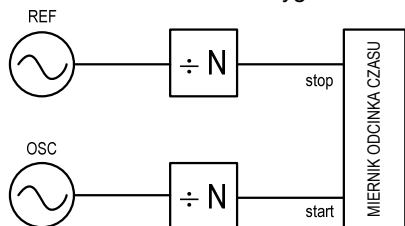
Wyniki pomiaru częstotliwości odczytane wprost z częstościomierza mogą posłużyć do oszacowania stabilności sygnału w czasie, np. poprzez pomiar w regularnych odstępach czasu (np. co 1 s). Należy jednak pamiętać, że wynik pomiaru częstotliwości jest obciążony błędem wynikającym z tzw. czasu martwego licznika - tj. czasu potrzebnego na zresetowanie licznika i przygotowanie go do dalszej pracy pomiędzy kolejnymi pomiarami.

Wymienione powyżej wady metody licznikowej ograniczają jej zastosowanie jedynie do bezpośrednich

pomiarów częstotliwości wzorcowej, jednakże sam licznik jest niezbędnym elementem w bardziej złożonych układach pomiarowych, które pozwalają na wyznaczenie innych parametrów sygnału częstotliwości wzorcowej.

### Metoda pomiaru odcinka czasu (różnic czasu fazowego)

Kolejną metodą pozwalającą na oszacowanie parametrów metrologicznych źródeł częstotliwości wzorcowych jest pomiar różnic czasu fazowego. Wykonuje się go pomiędzy charakterystycznymi zboczami sygnału częstotliwości odniesienia i sygnału częstotliwości wzorca badanego. Różnica częstotliwości między tymi sygnałami, powoduje względną zmianę fazy w czasie, a więc zmianę czasu pomiędzy zboczami. Na podstawie pomiarów tej zmiany można oszacować stabilność sygnału w czasie.



Rys. 1 Metoda pomiaru odcinka czasu

W praktyce realizowane jest to poprzez układy jak na rys. 1, sygnał z wzorca badanego i sygnał odniesienia należy sprowadzić za pomocą dzielników częstotliwości do np. częstotliwości 1 Hz, a następnie za pomocą miernika odstępów czasu mierzyć odcinek czasu pomiędzy odpowiadającymi sobie zboczami (narastające lub opadające). Zastosowanie dzielników częstotliwości pozwala na ograniczenie efektów związanych z czasem martwym licznika. Generatory częstotliwości wzorcowych często są wyposażone w wyjścia sygnałów 1 PPS (ang. pulse per second – impuls na sekundę), tj. sygnałów impulsowych o częstotliwości 1 Hz i o amplitudzie odpowiadającej standardom TTL (ok. 2,5 Vp-p). Mając dostępne wyjścia 1 PPS ze źródła odniesienia i z oscylatora badanego, można mierzyć czas odcinka pomiędzy zboczami narastającymi obu tych sygnałów.

Powyższa metoda dobrze nadaje się do oceny dynamiki zmian sygnału badanego

w czasie, jednakże bezpośrednie oszacowanie odstrojenia względnego częstotliwości (1) będzie obciążone błędem w postaci fazy początkowej, która będzie zależna od: różnic długości przewodów doprowadzających sygnały 1 PPS do licznika, niesymetryczności kanałów pomiarowych oraz niedopasowania impedancyjnego złącz.

$$\frac{\Delta f}{f_n} = \frac{t_{wsk} - t_{wz}}{t_{wz}}$$

(1)

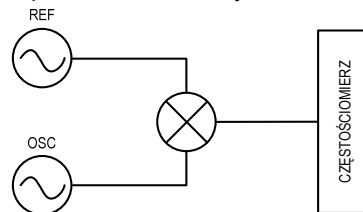
gdzie:  $t_{wsk}$  – wartość przedziału czasu wskazywana przez częstociomierz,  $t_{wz}$  – wartość wzorcowa przedziału czasu.

Metoda ta jest użyteczna do pomiarów stabilności długoterminowej atomowych wzorców częstotliwości.

Metoda pomiaru różnic czasu fazowego jest często stosowana w praktyce laboratoryjnej ze względu na dostępność zaawansowanych przyrządów do pomiaru odcinka czasu. Pomiar z niepewnością względną rzędu dziesiątek pikosekund (np. 25 ps w liczniku SR 620, czy też 35 ps w polskich licznikach typu T3100 lub T4100) nie są dziś niczym nadzwyczajnym.

### Metody wykorzystujące heterodynową przemianę częstotliwości

Wykorzystanie zjawiska konwersji częstotliwości w podwójnie zrównoważonych mieszaczach częstotliwości, pozwala na polepszenie rozdzielczości pomiarów. Idea pomiaru została przedstawiona na rys. 2:



Rys. 2 Metoda heterodynowa

W wyniku zmieszania w mieszaczu dwóch częstotliwości, otrzymuje się dwie częstotliwości lustrzane – stanowiące sumę i różnicę dwóch częstotliwości wejściowych. Do praktycznych pomiarów wykorzystuje się częstotliwość różnicową (otrzymaną za pomocą filtra dolnoprzepustowego). W przypadku zbliżonych wartości częstotliwości badanej i odniesienia będą to przebiegi wolnozmiennie (rzędu pojedynczych herców), które łatwo jest zmierzyć za pomocą zwykłego licznika czasu. Proces uzyskiwania częstotliwości różnicowej nazywany jest zdudnianiem częstotliwości (ang. beat frequency). Odstrojenie względne częstotliwości wyznaczamy dzieląc częstotliwość zdudnienia przez częstotliwość odniesienia. Równania mieszacza [4]:

$$v_b = |v - v_0|$$

(2)

$$y(t) = \frac{v_b}{v_0}$$

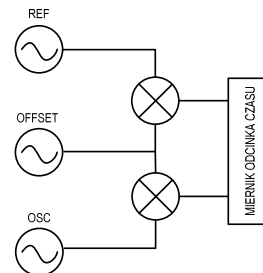
(3)

gdzie:  $v_b$  – częstotliwość różnicowa (zdudnienia),  $v_0$  – częstotliwość odniesienia,  $y(t)$  – odstrojenie względne częstotliwości.

Warto zauważyć, że w przypadku niewielkich różnic częstotliwości metoda jest odporna na zjawisko czasu martwego licznika. Metoda heterodyny znalazła również zastosowanie w częstociomierzach o zakresie mikrofalowym - jako preskaler (wstępny dzielnik częstotliwości), dopasowujący badany sygnał do zakresu pomiarowego typowego licznika.

### Metoda podwójnego mieszania częstotliwości

Szczególnym przypadkiem zastosowania metody heterodynowej do precyzyjnych pomiarów częstotliwości jest metoda z użyciem podwójnych mieszaczy częstotliwości, znana również pod nazwą metody oscylatora transferowego [4,5,6]. Została ona opracowana celem redukcji efektów związanych z zakłóceniami w elementach toru pomiarowego. Schemat tej metody przedstawia rys. 3:



Rys. 3 Metoda heterodynowa z podwójnym mieszaniem częstotliwości

Zasadniczą cechą metody jest zastosowanie wspólnego oscylatora (może być nim sygnał z oscylatora odniesienia przetworzony przez syntezer częstotliwości) jako oscylatora transferowego. Wówczas wszystkie niepożądane efekty w torze pomiarowym są wspólne dla obu kanałów i wzajemnie się znoszą w finalnym odejmowaniu. Metoda ta stała się podstawą do budowy komercyjnych urządzeń do precyzyjnych pomiarów różnic częstotliwości i fazy (np. seria komparatorów Quartzlock A-7), z niepewnościami pomiaru rzędu (0,1 – 0,2) ps.

### Metody transferowe

Celem wzorcowania (kalibracji) w sensie metrologicznym jest określenie relacji pomiędzy wartościami wielkości wzorca badanego i wzorca odniesienia, czyli wyznaczenie poprawek. Dysponowanie historią wzorcowań stwarza możliwość określenia dryftu, tj. dających się przewidzieć zmian właściwości wzorca. W przypadku wzorcowania dobrej klasy wzorca częstotliwości, znajomość historii wzorcowań nie przynosi tyłu korzyści co w przypadku kalibracji aparatury pomiarowej o stałych parametrach, np. rezystorów, cewek lub odważników. Wynika to z faktu, że wzorzec częstotliwości musi pracować w trybie pracy ciągłej, oraz musi przebywać w stabilnych warunkach klimatycznych (co nie zawsze jest możliwe przy konieczności transportu wzorca do laboratorium odniesienia). Powszechną zatem praktyką w laboratoriach metrologicznych jest kalibracja wzorca czasu jedynie podczas pierwszego uruchomienia. Kolejne wzorcowanie następuje dopiero w przypadku wystąpienia wątpliwości co do jego właściwej pracy. Takie wzorcowanie wystarcza do określenia, czy przyrząd pomiarowy spełnia wymagania techniczne gwarantowane przez producenta. Monitorowanie parametrów wzorca odbywa się za pomocą metod zdalnych, nie wymagających fizycznego transportu wzorca. Istotne jest zatem wypracowanie metody umożliwiającej z jednej strony, zapewnienie spójności pomiarowej wzorca (ang. traceability – czyli możliwość wykazania łańcucha powiązań z wzorcem wyższego rzędu) a z drugiej nie zaburzającej pracy wzorca.

### Metoda jednodrogowa

Metoda jednodrogowa jest stosowana powszechnie w systemach dystrybucji czasu. Polega na tym, że źródło częstotliwości wzorcowej, za pomocą medium transmisyjnego przesyła sygnał zawierający informację o wzorcowej częstotliwości. Sygnał może być propagowany w postaci sygnału radiowego, łącza kablowego lub światłowodowego. Powszechnie dostępnym źródłem częstotliwości są sygnały radiowe (DCF177, częstotliwość programu pierwszego Polskiego Radia) a w szczególności sygnał GPS. W praktyce laboratoryjnej wykorzystuje się głównie sygnał GPS, ze względu na jego łatwą dostępność. Wykorzystywany jest on do cyklicznego dostrajania kwarcowych lub rubidowych wzorców częstotliwości (GPSDO – GPS disciplined oscillator). Zaletą metody jednodrogowej jest niski koszt pozyskania sygnału GPS dobrej jakości oraz możliwość synchronizacji wielu źródeł jednym sygnałem. Zasadniczą wadą tej metody jest zapewnienie spójności pomiarowej tylko w momencie dostrajania wzorca do sygnału GPS. Wzorzec nadal musi być poddawany kalibracji w określonych odstępach czasu. Ponadto, sygnał GPS jest podatny na zakłócenia i czerpanie informacji tylko z tego źródła jest ryzykowne.

### Metoda jednodrogowa – common view

Metoda wspólnych obserwacji (ang. common view) [7] oparta jest na pomiarze powszechnie dostępnego sygnału (w praktyce GPS) w ściśle określonym czasie wspólnym dla

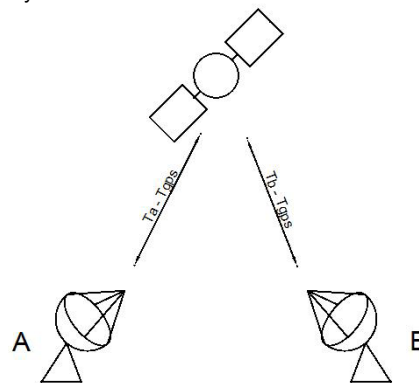
wszystkich obserwatorów, a następnie porównanie wyników. Wykorzystuje się przekształcenie odwrotne do równania współrzędnych, wprowadzając do odbiornika znane współrzędne jego anteny i mierząc sygnał czasu nadawany z satelity GPS. Sygnał – nawet zakłócony – jest wspólny dla wszystkich obserwatorów, dzięki czemu wymiana danych niesie informację o różnicach pomiędzy wzorcami uczestników porównania odniesionych do sygnału GPS. Wpływ sygnału transferu anuluje się podczas odejmowania. Międzynarodowe Biuro Miar (BIPM) sformalizowało metodę wspólnych obserwacji sygnału GPS do celów tworzenia międzynarodowej skali czasu UTC na podstawie wyników z porównań wzorców częstotliwości z całego świata. Metoda zwana GPS CV (ang. GPS Common View) umożliwia z jednej strony stworzenie skali czasu, a z drugiej pozwala na obserwację zachowań własnych wzorców dla poszczególnych uczestników. Wykorzystując równania (4), (5) i (6) można określić za pomocą metody GPS CV różnicę czasu fazowego pomiędzy wzorcem odniesienia i wzorcem danego laboratorium.

$$(4) \quad \Delta T_A = T_A - T_{GPS}$$

$$(5) \quad \Delta T_B = T_B - T_{GPS}$$

$$(6) \quad \Delta T_{A-B} = \Delta T_A - \Delta T_B = T_A - T_{GPS} - (T_B - T_{GPS}) = T_A - T_B$$

gdzie:  $\Delta T_A$ ,  $\Delta T_B$  – różnica pomiędzy czasem fazowym sygnału wzorcowego a GPS,  $\Delta T_{A-B}$  – różnica pomiędzy czasem fazowym danych ośrodków.



Rys. 4 Metoda transferowa GPS Common View

Obserwatorzy w laboratorium A i B mierzą odcinek czasu pomiędzy sygnałem 1 PPS, dystrybuowanym poprzez sygnał GPS a sygnałem 1 PPS z własnego wzorca za pomocą licznika. Jednocześnie obserwacji zapewniona jest poprzez sam sygnał GPS, który niesie informację o aktualnej epoce (dacie). Symultaniczne obserwacje wielu satelitów w ciągu całej doby niwelują w znacznym stopniu wpływ zakłóceń propagacji sygnału.

Zaletą metody jest prostota i powszechna dostępność. Wadą jest konieczność posiadania dedykowanej aparatury (licznika i odbiornika GPS wraz z specjalizowanym oprogramowaniem) i zachowanie dyscypliny w pomiarach i wymianie danych.

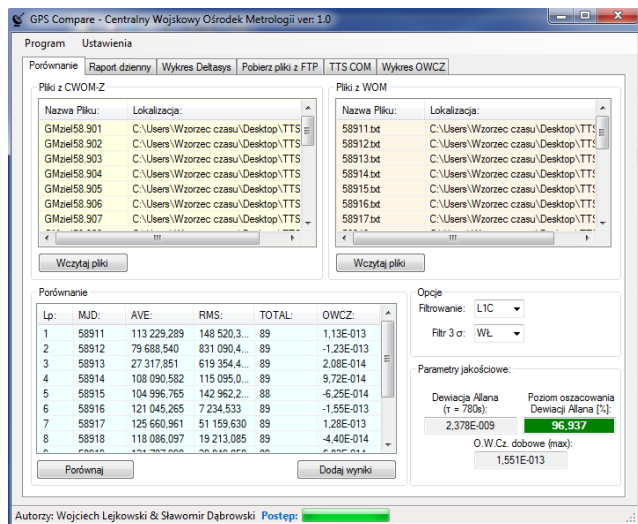
### Metody dwudrogowe

Metody jednodrogowe obarczone są niepewnością wynikającą z zakłóceń sygnałów w atmosferze ziemskiej. Dla dalszej poprawy precyzji pomiarów można zastosować metody polegające na bezpośredniej wymianie danych pomiędzy ośrodkami posiadającymi wzorce częstotliwości. Do takich metod należą metody dwudrogowe – wzorcowe sygnały są wymieniane pomiędzy laboratoriami za pomocą łączy kablowych, światłowodowych lub satelitarnych.

Zaletami tych metod są zwiększenie precyzji i minimalizacja wpływu medium transmisyjnego. Wadą są wysokie koszty aparatury i infrastruktury do przesyłu sygnału (dzierżawa łączy satelitarnych czy położenie kabla światłowodowego), zatem korzystają z nich tylko największe i najbardziej zaawansowane laboratoria, często o statusie NMI (ang. *National Metrology Institute*), a porównywane są wzorce najwyższego rzędu (pierwotne etalony częstotliwości) bądź też jest kalibrowana aparatura do metod jednodrogowych.

### Oprogramowanie gps common-view

Omawiane oprogramowanie służy do porównania wysokostabilnych wzorców czasu na podstawie danych generowanych przez system transferu czasu, metodą GPS Common-View.



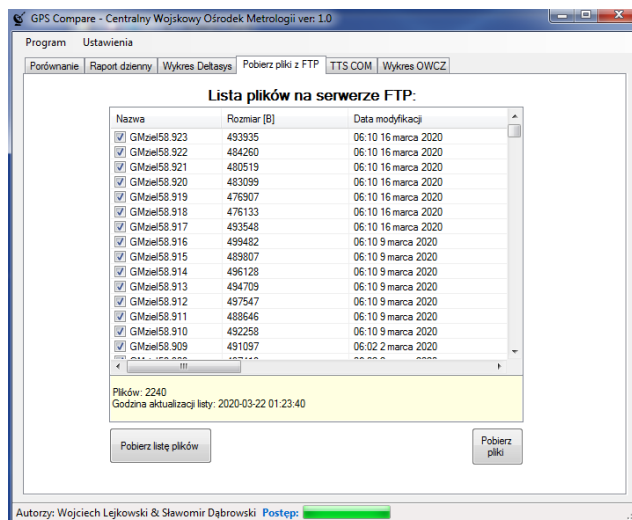
Rys. 5 Okno główne programu GPS Compare

Na rys. 5 przedstawiono okno główne programu GPS Compare. Program został napisany w języku C#, w technologii .NET Framework 4.5. Autorami oprogramowania są inżynierowie z Centralnego Wojskowego Ośrodka Metrologii.

Okno główne składa się z pięciu segmentów:

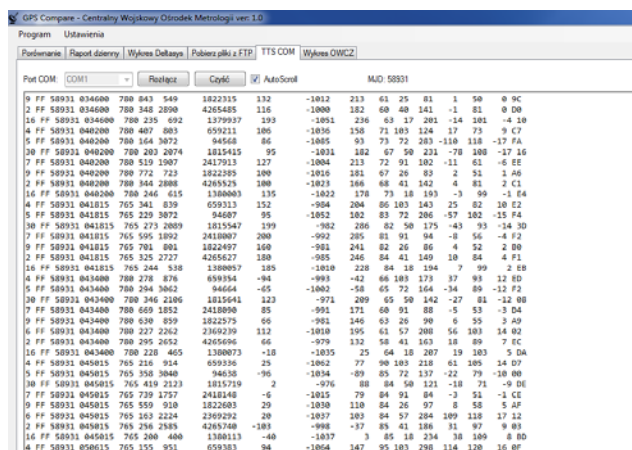
- **Pliki z CWOM-Z** – służy do wczytania plików z laboratorium odniesienia, w przypadku Wojskowych Ośrodków Metrologii jest to Zespół Wzorców Odniesienia w Zielonce, będący w strukturze Centralnego Wojskowego Ośrodka Metrologii. Zespół Wzorców Odniesienia wyposażony jest w wysokostabilny wzorec cesowy, który bierze udział w tworzeniu polskiej skali czasu – UTCPL.
- **Pliki z WOM** – służy do wczytania plików z laboratorium lokalnego.
- **Opcje** – sekcja opcji porównania pozwala na wybranie nośnej, z której mają być analizowane dane oraz włączenie filtra 3 $\sigma$ ;
- **Porównanie** – sekcja z wynikami porównania, wskazuje wyniki pośrednie z poszczególnych dni zmodyfikowanego kalendarza juliańskiego;
- **Parametry jakościowe** – sekcja z wynikami, która wskazuje poziom oszacowania dewiacji Allana oraz maksymalne dobowe O.W.CZ (Odstrojenie Względne Częstotliwości).

Oprogramowanie umożliwia pobranie plików laboratorium odniesienia z dowolnego serwera FTP. Opcje połączenia FTP konfigurowane są w ustawieniach programu.

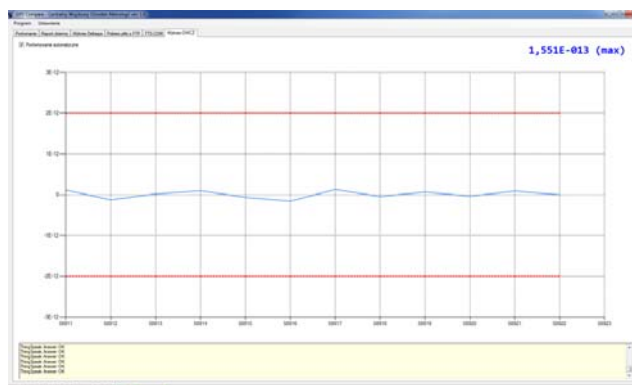


Rys. 6 Okno pobierania plików z serwera FTP

Na rys. 6 przedstawiono okno pobierania plików z serwera FTP. Program umożliwia zaznaczenie wybranych plików oraz pobranie ich na dysk lokalny w celu dokonania porównania z laboratorium odniesienia.



Rys. 7 Fragment okna komunikacji z systemem transferu czasu



Rys. 8 Okno porównania automatycznego

Program GPS Compare komunikuje się z systemem transferu czasu za pośrednictwem portu COM. Okno komunikacji zaprezentowano na rys. 7. Program samoczynnie wykrywa zmianę dnia juliańskiego (ang. JD – Julian Date – liczba dni która upłynęła od 1 stycznia 4713 r. p.n.e.) i zapisuje plik danych pod wskazaną lokalizacją, dzięki czemu podczas działania aplikacji samoczynnie tworzą się pliki systemu transferu czasu służącego do porównania.



Ostatnią, najważniejszą częścią jest tryb automatycznego porównywania. Program raz na dobę zapisuje pliki z systemu transferu czasu laboratorium lokalnego (komunikacja COM), pobiera plik z serwera FTP zawierający dane z laboratorium odniesienia, wyznacza dobowe odstrojenie częstotliwości wzorcowej i umieszcza je na wykresie. Przykładowy przebieg odstrojenia przedstawiono na rys. 8.

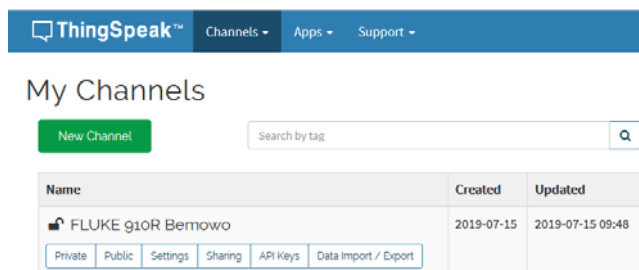
Na osi odciętych podany jest dany MJD (Zmodyfikowany Dzień Juliański), natomiast na osi rzędnych aktualna wartość odstrojenia częstotliwości. Czerwonymi liniami zaznaczony jest przedział wartości dopuszczalnych wzorca, dla którego następuje porównanie. W prawym górnym rogu wyświetlana jest również wartość maksymalnego wyznaczonego odstrojenia w danym przedziale czasu. Analizowany przedział czasu jak i wartości dopuszczalne są konfigurowalne w ustawieniach programu.

GPS Compare współpracuje z systemami transferu czasu TTS-2 i TTS-5. Może być wykorzystany w każdym laboratorium wyposażonym w wysokostabilny wzorzec częstotliwości i system transferu czasu. Ponadto, jeżeli laboratorium wyższego rzędu umieszcza swoje wyniki na serwerze FTP, możliwe jest automatyczne, ciągłe porównywanie odstrojenia wzorca względem odniesienia. Dzięki temu laboratorium jest w stanie utrzymywać spójność pomiarową bez wysyłania wzorca do laboratorium wyższego rzędu.

### Platforma IoT ThingSpeak

Do celów testowych monitorowania wyników odstrojenia względnego częstotliwości wykorzystano platformę internetową ThingSpeak, która jest dostępna pod adresem internetowym: <https://thingspeak.com/>. Platforma jest dostosowana do analizy i umieszczania danych pochodzących z systemów IoT. ThingSpeak – IoT Analytics – ThingSpeak Internet of Things, ThingSpeak dodatkowo oferuje wsparcie silnika Matlab do analizy umieszczonych danych, a dane na platformę wysyła się używając protokołu HTTP lub MQTT [8].

W celach testowych utworzono konto na stronie platformy ThingSpeak, oraz został otwarty kanał dla wyników odstrojenia dobowego dla wzorca czasu znajdującego się w CWOM-Bemowo.

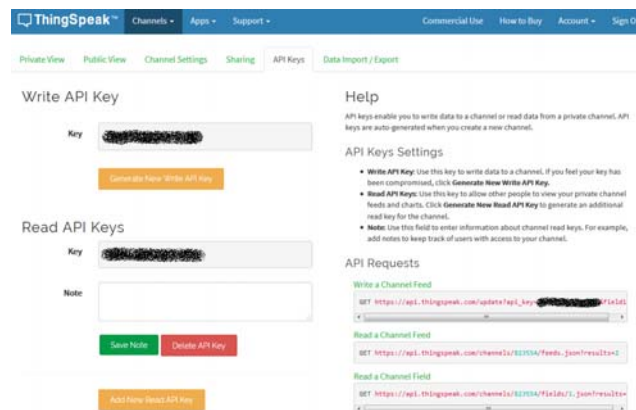


Rys. 9 Utworzony kanał na platformie ThingSpeak

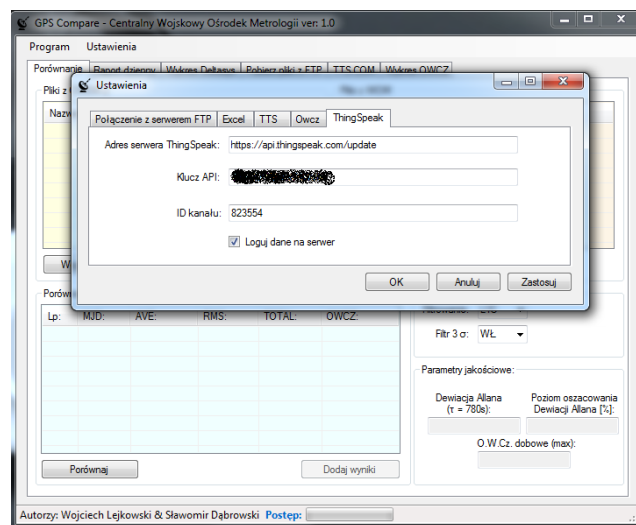
Na rys. 9 przedstawiono kanał przeznaczony na dane dla wzorca czasu FLUKE 910R, znajdującego w lokalizacji CWOM Bemowo. Po otwarciu kanału możliwe jest wysyłanie danych. W tym celu należy w ustawieniach kanału odnaleźć klucz API niezbędny do utworzenia zapytania HTTP wysyłającego dane na platformę. Na rys. 10 zaprezentowano zakładkę API Keys na stronie ThingSpeak. Klucze zostały ukryte ze względów bezpieczeństwa.

W autorskim programie GPS Compare wykonującym porównania wzorców czasu w zakładce ustawienia należy wprowadzić adres platform IoT, klucz API do zapisu danych oraz numer kanału. Omawiana zakładka została

zaprezentowana na rys. 11. W tym przypadku klucz API został również ukryty ze względów bezpieczeństwa.



Rys. 10 Lokalizacja klucza API niezbędnego do aktualizacji danych



Rys. 11 Ustawienia platformy IoT z poziomu programu GPS Compare

Program po codziennym wyznaczeniu odstrojenia dobowego wzorca wysyła aktualną wartość odstrojenia na platformę. Na poniższym listingu zaprezentowano fragment kodu odpowiedzialnego za komunikację z platformą API.

### Listing 1.

```
try
{
    HttpWebRequest ThingsSpeakReq;
    HttpWebResponse ThingsSpeakResp;
    strUpdateURI = ThingsSpeakURL + "?key=" + APIKey;
    string owcz_text = Owcz.ToString("E").Replace(',', '.');
    if (Owcz > 0.0) owcz_text = "+" + owcz_text;

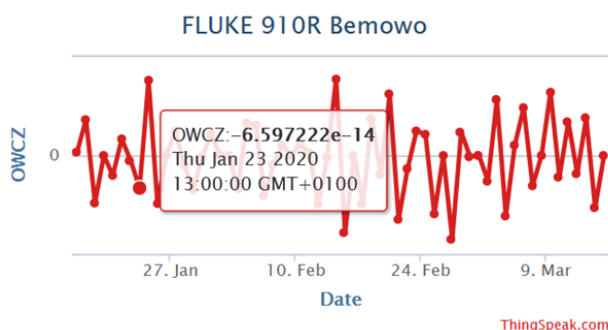
    strUpdateURI += "&field1=" + owcz_text + "&created_at=" +
    Timestamp.ToString("yyyy-MM-dd") + "T12:00:00Z";

    ThingsSpeakReq = (HttpWebRequest)WebRequest.Create(strUpdateURI);
    ThingsSpeakReq.AllowAutoRedirect = true;
    ThingsSpeakResp = (HttpWebResponse)ThingsSpeakReq.GetResponse();

    if (!(string.Equals(ThingsSpeakResp.StatusDescription, "OK")))
    {
        Exception exData = new
        Exception(ThingsSpeakResp.StatusDescription);
        ThingsSpeakResp.Close();
        throw exData;
    }

    ThingsSpeakResp.Close();
    return ThingsSpeakResp.StatusDescription;
}
catch (Exception ex)
{
    return ex.Message;
}
```

Program realizuje wysyłanie wartości odstrojenia względnego częstotliwości za pomocą protokołu HTTP. Dodatkowo do zapytania dołączany jest stempel czasowy, który wskazuje czas realizacji pomiaru, pozwala on na odpowiednie umieszczenie punktu w skali czasu. Po kilkudziesięciu dniach można obserwować na stronie kanału wykres aktualnych zmian OWCZ wzorca – rys. 12.



Rys. 12 Wykres zmian odstrojenia względnego częstotliwości dla 30 dni

ThingSpeak nie skaluje osi Y do tak małych wartości, dlatego skala osi Y jest niewidoczna. Po wskazaniu konkretnego punktu, widać jego datę oraz wartość odstrojenia. Ten sam obraz można zobaczyć na ekranie smartfona, w aplikacji mobilnej. Na rys. 13 zaprezentowano zobrazowanie odstrojenia względnego częstotliwości wzorca ze wskazaniem tego samego punktu z 23 stycznia 2020 r.

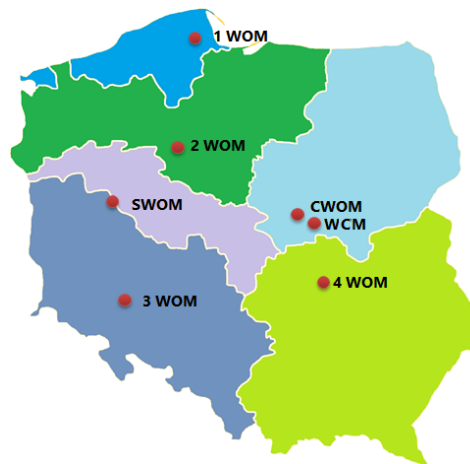


Rys. 13 Wykres zmian odstrojenia w aplikacji mobilnej

### Koncepcja rozszerzenia

Wojskowe ośrodki metrologii, których rozlokowanie przedstawiono na rys 14, będące organami wykonawczymi metrologii wojskowej podległe Wojskowemu Centrum Metrologii wyposażone są w wysokostabilne atomowe wzorce czasu wraz z systemem transferu czasu TTS-2 lub TTS-5.

Laboratorium odniesienia dla wojskowych ośrodków metrologii jest Zespół Wzorców Odniesienia w Zielonce będący w strukturze Centralnego Wojskowego Ośrodka Metrologii. Zespół Wzorców Odniesienia posiada cezowy wzorec częstotliwości, który jest powiązany z wzorcem czasu Głównego Urzędu Miar. Koncepcja rozszerzenia systemu obejmuje zainstalowanie w każdym z ośrodków aplikacji GPS Compare i skonfigurowanie jej do porównań danego wzorca z laboratorium w Zielonce. Konieczne jest również utworzenie nowej lub korzystanie z istniejącej platformy IoT do przechowywania wyników. Możliwe będzie nadzorowanie wszystkich wzorców czasu z wojskowych ośrodków metrologii przez Wojskowe Centrum Metrologii i reagowanie w trybie natychmiastowym na potencjalną utratę spójności pomiarowej.



Rys. 14 Rozmieszczenie wojskowych ośrodków metrologii

### Podsumowanie

Niniejszy artykuł stanowi podsumowanie dotychczasowych prac związanych z utrzymaniem spójności pomiarowej wzorców czasu w Centralnym Wojskowym Ośrodku Metrologii w Warszawie. Dzięki zastosowaniu technologii IoT możliwe staje się nadzorowanie wzorców z każdego miejsca na Ziemi z dostępem do Internetu. W czasie prac pojawiła się również koncepcja rozszerzenia systemu dla wszystkich Wojskowych Ośrodków Metrologii znajdujących się na terenie całego kraju. Dostęp do sieci Internet oraz do technologii IoT pozwalały na monitorowanie wszystkich wzorców i maksymalne skrócenie czasu reakcji personelu na utratę spójności pomiarowej, która w myśl normy PN-EN ISO/IEC 17025:2018-2 jest niezwykle ważna.

**Autorzy:** kpt. dr inż. Wojciech Lejkowski, Centralny Wojskowy Ośrodek Metrologii, Zakład Kalibracji Elektrycznych Przyrządów Pomiarowych, ul. Radiowa 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [w.lejkowski@ron.mil.pl](mailto:w.lejkowski@ron.mil.pl); kpt. mgr inż. Sławomir Dąbrowski, Centralny Wojskowy Ośrodek Metrologii, Zespół Wzorców Odniesienia, ul. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka, E-mail: [s.dabrowski@ron.mil.pl](mailto:s.dabrowski@ron.mil.pl); kmdr por. mgr inż. Arkadiusz Świtalski, Centralny Wojskowy Ośrodek Metrologii, Zespół Przetwarzania Danych i Logistyki, ul. Radiowa 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [a.switalski@ron.mil.pl](mailto:a.switalski@ron.mil.pl).

### LITERATURA

- [1] Urbanowicz „Spójność pomiaru w podejściu procesowym”, Główny Urząd Miar, XXII Sympozjum Klubu POLLAB – 12.09.2017;
- [2] PN-EN ISO/IEC 17025:2018-2, „Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących”;
- [3] J. Kalisz, Z. Jachna, R. Szplet, K. Różyć, Precyzyjny licznik czasu i częstotliwości z interfejsem PCI, Warszawa 2006
- [4] D.B. Sullivan, D. W. Allan, D.A. Howe, F.L. Walls, Characterization of Clocks and Oscillators. NIST Technical Note no 1337, Boulder (Colorado) 1990,
- [5] PN-86/N-02051, Metrologia czasu (chronometria) Terminologia,
- [6] W. J. Riley, Handbook of Frequency Stability Analysis, Washington, DC, 2008
- [7] Lewandowski W., Thomas C., GPS Time transfer, Paryż 1999,
- [8] ThingSpeak documentation: <https://www.mathworks.com/help/thingspeak/>