


# Metr zależy od światła

Odwiedzamy Główny Urząd Miar.

Tekst  
Jonasz Tolopilo

Zdjęcia  
Wojciech Woźniak/Makata



- Dzień dobry, dzwonię z redakcji „Futu”. Chciałbym się dowiedzieć, jak się mierzy. Możemy was odwiedzić?  
- Najpierw proszę precyzować, co chce pan zobaczyć. W Głównym Urzędzie Miar jest 20 laboratoriów. Niech pan wejdzie na naszą stronę i zobaczy, jak to wszystko wygląda. Mamy też filmik na You Tube, tam jest wszystko pokazane.  
- Mimo wszystko chciałbym porozmawiać ze specjalistami z laboratoriów.  
- To proszę wysłać mejla do pana Żeberkiewicza i poprosić o spotkanie.  
Wysłałam mejla do Adama Żeberkiewicza, starszego specjalisty w Gabiniecie Prezesa Głównego Urzędu Miar w Warszawie. Pan Adam chętnie nas przyjmie. Kilka dni później stoimy już na parterze budynku urzędu przy recepcji. Chwilę później przychodzi fotograf. Ruszamy.

1. Podstawą odtwarzania i przekazywania jednostki miary masy jest wzorzec państwowy o numerze seryjnym 51. Na zdjęciu stalowa kopia wzorca państwowego.





Wojciech Wiśniewski otwiera szklane drzwi. Wchodzimy do niewielkiego pomieszczenia – na środku znajduje się granitowy blat, na którym pod szklanym kloszem stoi kilka błyszczących walców. Obok umieszczono sondę, która mierzy temperaturę, wilgotność i ciśnienie powietrza. Pan Wojciech zakłada białe rękawiczki, bierze do rąk chwytak, podnosi przykrywkę i lekko unosi jeden z nich. Pan Wojciech jest kierownikiem Laboratorium Masy i opiekunem państwowego wzorca kilograma.

– O, i to właśnie jest stalowa kopia kilograma – mówi. – Wykorzystujemy ją do wzorcowania jednostek masy.

– A możemy zobaczyć, jak wygląda oryginał? – Nie mogę go pokazywać. Powiem tylko tyle, że przechowujemy go w ogniotrwałej szafie panczernej na terenie urzędu.

– Jest drogi?

– Kupowaliśmy go w latach 50. Kosztował 80 tys. zł, ale trudno to porównać do dzisiejszych cen. Uwzględniając inflację i inne czynniki, dziś to równowartość kilkuset tysięcy złotych.

– Co by się stało, gdyby ktoś go ukradł?

– A na co komu 900 gramów platyny i 100 irydu? Złodziej nawet nie zarobiłby na złomie. Natomiast dla laboratorium i dla państwa szkoda byłaby nie do opisania – cały handel, wszystko by ucierpiało.

Dokładność wzorców masy jest hierarchiczna. Najdokładniejszy jest wzorzec państwowy, potem jego kopie. Następne wzorce oznaczają się jako E1, E2, F1, F2 i M1. Niższe klasy można dotykać rękami, ale każdy odcisk palca waży. – Nie ma prostej definicji dokładności. Dla nas dokładność to niepewność – mówi Wiśniewski.

Dowiadujemy się, że niepewność to po prostu odległość od źródła spójności pomiarowej – im mniejsza, tym wzorzec jest bliższy kilogramowi, który stoi w Międzynarodowym Biurze Miar w Sèvres.

# kg

– A te jaką mają klasę? – pytamy, wskazując na zestaw wzorców umieszczonych w szafie z przeszklonymi drzwiami.

– To wzorzec o jeszcze niższej dokładności. Ale to i tak bardzo niewielka różnica pomiędzy głównym wzorcem. Jakbyś pan siarkę na zapalce pokroił na tysiąc kawałków i wziął dwa z nich – mniej więcej takiego rzędu.

Naszą uwagę zwraca wykres wiszący na drzwiach jednej z szaf.

– No właśnie, nie powiedziałem jeszcze ważnej rzeczy – ożywia się pan Wojciech. – Nasz kilogram tyje! W skali miesiąca jest to niewiele, bo około 0,1 mikrograma, ale faktem jest, że stale przybiera na masie. Na wykresie można zaobserwować, jaką miał masę w poprzednich miesiącach.

Dowiadujemy się, że raz na jakiś czas wzorce są czyszczone. Ustawia się je wtedy na postumencie obrotowym i spryskuje parą wodną. Cała procedura potrafi trwać nawet dwa miesiące. Mimo to kilogram nie przestaje tyć, więc najprawdopodobniej w 2018 r. przeprowadzi się jego międzynarodową redefinicję.

– Skoro waga jest zmienna, to jak można ufać pomiarom?

– Wahania masy w tej skali to problem na poziomie naukowym. W życiu codziennym tycie kilograma nie ma na nic wpływu – uspokaja pan Wojciech.

Urzędy miar z różnych krajów odwiedzają się, żeby przeprowadzić pomiary albo porównać wzorce. Pan Wiśniewski opowiada, że otwarcie granic po wejściu Polski do UE bardzo ułatwiło im pracę:

– Proszę sobie wyobrazić, że w 2003 r. jechałem do czeskiego instytutu miar z naszymi wzorcami i stałem na przejściu granicznym w Cieszyńcu dziewięć godzin! Dostałem oczywiście certyfikaty i zezwolenia, ale i tak trudno było mi przekonać celnika, że nie może dotknąć wzorca, bo odciski palców zmieniają końcowy wynik. Na polskim przejściu granicznym mi się udało, gorzej było z czeskimi celnikami. Skończyło się tak, że musiałem czekać, aż przyjdzie następna zmiana – następna ekipa okazała się bardziej wyrozumiała i w końcu mnie puścili.

1. Wzorce o niższej dokładności nie muszą być przechowywane w sterylnych warunkach. Ich dokładność wciąż jednak wielokrotnie przewyższa np. odważniki używane na co dzień.

2. Komparator to urządzenie, które pozwala na porównywanie masy o różnej klasie dokładności.

Futu story  
Miary





°C

Pan Adam prowadzi nas do dalszych pomieszczeń. Na korytarzu stoją gabloty wypełnione starymi urządzeniami do pomiarów, które wyszły już z obiegu, najstarsze mają po kilkadziesiąt lat. Oprócz węg czy termometrów widzimy używane dawniej tachografy i urządzenia do pomiaru ciśnienia. W końcu dochodzimy do końca korytarza. Otwieramy drzwi i widzimy szereg maszyn przypominających lodówki.

– Niektóre z nich faktycznie chłodzą, ale reszta to piece – mówi Marek Kozicki, kierownik Laboratorium Temperatury.

– Do czego służą?

– Mamy tu np. stanowisko do realizacji punktu potrójnego argonu, kriostat do realizacji punktu potrójnego rtęci i piec do realizacji punktu krzepnięcia srebra. Odtwarzanie skali temperatury jest realizowane za pomocą komórek punktów stałych.

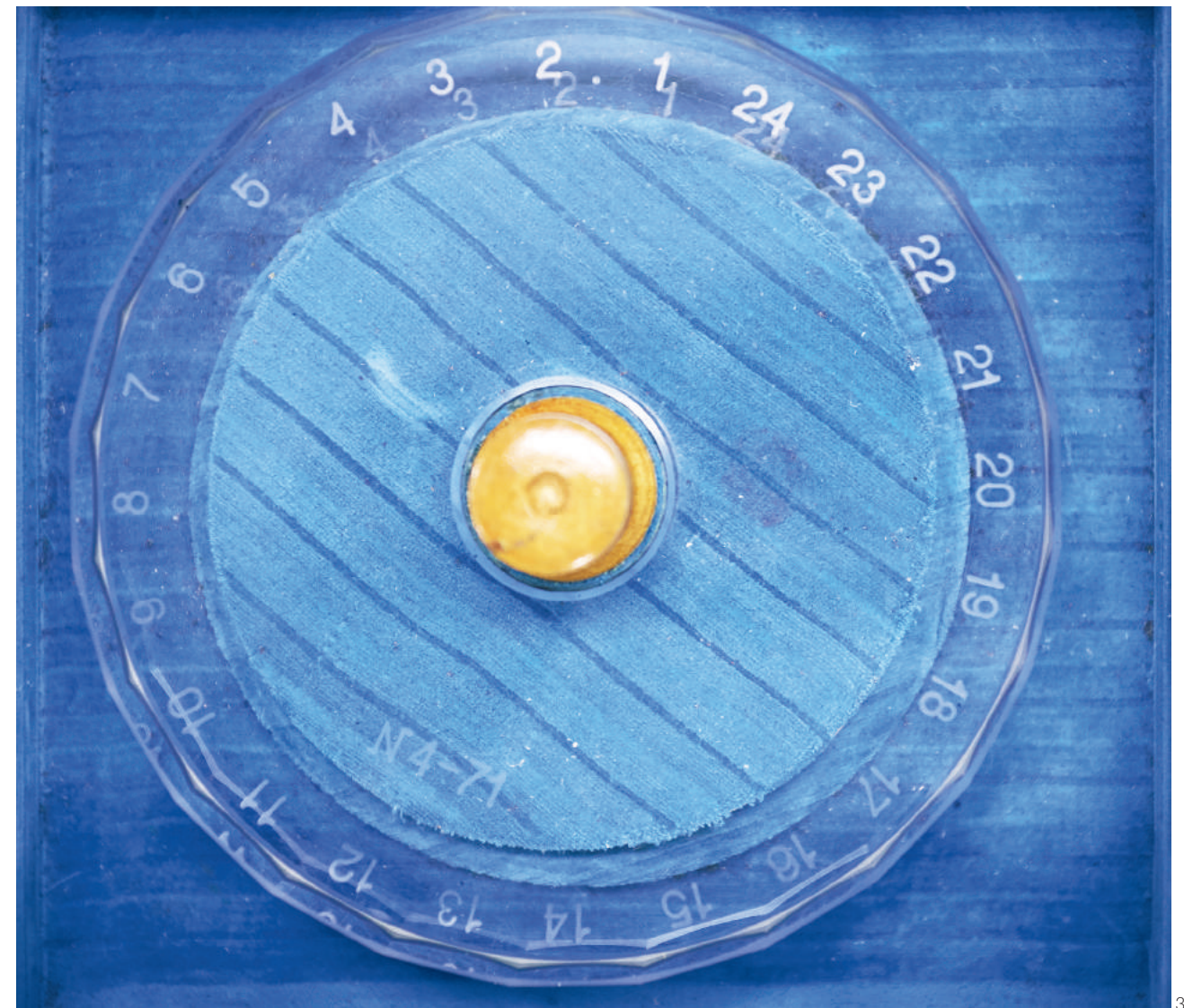
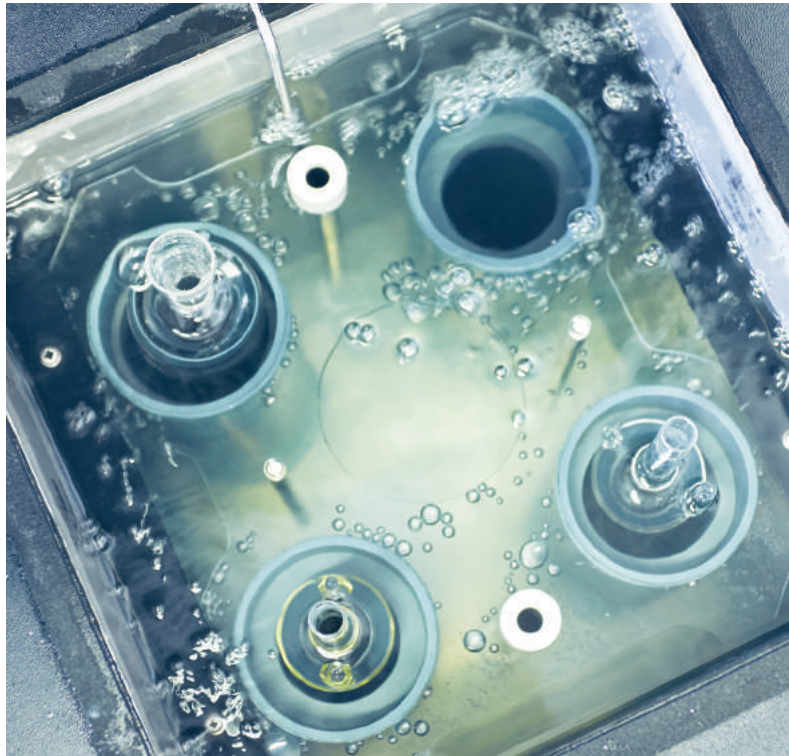
Nie ukrywamy, że nie rozumiemy z tej wypowiedzi wiele, więc pan Marek od razu dopowiada:

– Trzymamy tu różne substancje, które mają określoną temperaturę. Musimy zadbać o odpowiednie warunki, żeby stworzyć równowagę fazową, czyli punkt stały. Dlatego potrzebujemy pieców i termostatów.

Jednym z punktów stałych jest tzw. punkt potrójny wody. Żeby go osiągnąć, potrzebna jest szklana komórka, czyli podłużne naczynie z zamkniętą wewnątrz czystą wodą i parą wodną. Komórkę się zamraża, żeby uzyskać lód, czyli trzecią fazę skupienia. W pewnych warunkach atmosferycznych (przy temperaturze bliskiej zera i ciśnieniu kilkudziesięciu hektopaskali) woda w komórce występuje jednocześnie w trzech stanach skupienia: ciekłym, pary wodnej i lodu.

– Czym zajmuje się Laboratorium Temperatury?

– Głównie wystawiamy świadectwa wzorcowania. Sprawdzamy przyrządy pomiaru temperatury. Naszym zadaniem jest utrzymywanie państwowego wzorca jednostki miary temperatury w zakresie od  $-189,34^{\circ}\text{C}$  do  $961,78^{\circ}\text{C}$ . Ponad tysiąc stopni różnicy! – mówi pan Marek. Każdy pomiar musi być wykonany przy zachowaniu norm przyjętych przez Międzynarodowe Biuro Miar i Wąg. Na świecie nie ma jednego wzorca temperatury. Każdy kraj ma własny, który bierze udział w porównaniach międzynarodowych.



○

– Państwo do kąta? To będzie do końca i w lewo.

Żeby odwiedzić Laboratorium Kąta, trzeba zjechać windą poniżej parteru. Niedługo później wita nas pani Joanna Przybylska, kierownik laboratorium.

– Dzień dobry, chcielibyśmy się dowiedzieć, jak się mierzy kąty.

– To można opowiadać bez końca! Ale zapraszam do środka, postaram się pokazać.

Pani Joanna stawia przed nami pryzmę, czyli owalną szklaną płytę o lekko kanciastej krawędzi. Pomiędzy jej bokami oznaczono kąty 15 stopni.

– Nie da się zrobić idealnej, każda będzie miała jakieś błędy. Chodzi o to, aby móc wyznaczyć wartości tych błędów jak najdokładniej, bo taka pryzma jest wzorcem dla dalszych pomiarów. Ta jest bardzo dobrej jakości, jeszcze radziecka. Teraz już się takiej nie dostanie – mówi pani Joanna.

Pytamy, z jaką dokładnością można wyznaczyć wartości kątów.

– W tym momencie jesteśmy w stanie wykonać pomiar z dokładnością do setnych albo tysięcznych części sekundy. Ale powoli zaczynamy myśleć o nanoradianach, a to już dziesięciotysięczne części sekundy. To urządzenie, które stoi w rogu pomieszczenia, czyli autokolimator, dokonuje pomiaru w rozdzielczości jednej tysięcznej sekundy kątowej.

W środku znajduje się źródło światła. Jeżeli powierzchnia odbijająca jest idealnie prostopadła do osi wiązki świetlnej, to wiadomo, że promień wróci do źródła światła tą samą drogą. W każdym innym przypadku będzie się odbijał pod pewnym kątem. W urządzeniu mamy układ detektorów, który mierzy odchylenie wiązki. I na tej podstawie jesteśmy w stanie określić, pod jakim kątem pada światło. Ja wiem, że tu niewiele widać, ale proszę mi wierzyć – to wszystko się dzieje w środku – cierpliwie tłumaczy pani Joanna.

3. Pryzma 24-ścienna. Na specjalnym stanowisku w Laboratorium Kąta wyznacza się wysokości błędów kątów pomiarowych pryzmy.



1,2. Stanowisko służące do pomiaru, które odtwarza wzorcowe długości fal promieniowania laserowego.

3. W piwnicy Głównego Urzędu Miar znajduje się 50-metrowy korytarz. Urządzenie, które w nim umieszczono, służy do wzorcowania m.in. dalmierzy.

# m

Wchodząc do Laboratorium Długości, wydaje się nam, że podobnie jak w przypadku kilograma i Laboratorium Masy zobaczymy wzorzec – w tym przypadku metrową linijkę. Zamiast tego w pomieszczeniu widzimy stół, a na nim urządzenie złożone z soczewek, kabli i monitora. – Kiedyś metr faktycznie miał postać platynowego pręta. Rozwój technologiczny wymusił jednak dokładniejsze pomiary... Nie do końca wiem, jak to zacząć tłumaczyć. Zaczniemy od tego, że metr to droga, jaką przebędzie światło w próżni w czasie  $1/299792458$  sekundy – mówi Dariusz Czulek z Laboratorium Długości.

Jako że w pomiarze metra uwzględnia się jednostkę czasu, Laboratorium Długości potrzebuje jego dokładnego wskaźnika. Do punktu pomiarowego podłączony jest przewód zsynchronizowany z zegarem cezowym.

– Współpracujemy z Laboratorium Czasu i Częstotliwości, które przesyła nam swój sygnał. Dzięki temu możemy dokładnie określić, ile tak naprawdę ma metr – mówi pan Dariusz.

Stół wraz z układem pomiarowym umiesz-



Główny Urząd Miar rozpoczął działalność 1 kwietnia 1919 r. Od 1922 r. siedzibą urzędu jest budynek przy ul. Elektoralnej 2 w Warszawie.

czony jest na granitowej płycie, żeby zamortyzować drgania. A żeby odczyt był jeszcze bardziej dokładny, ustawiono go na specjalnej poduszce powietrznej, która amortyzuje drgania wywołane przez pociągi metra jeżdżące pod budynkiem. Pan Dariusz wskazuje na jedną część i tłumaczy:

– W tym miejscu stoi laser, którego wzorcowanie przeprowadzamy. Stanowisko pomiarowe służące do wzorcowania laserów wymaga częstej adiustacji – średnio co osiem godzin. W laboratorium oprócz laserów wzorcujemy m.in. wzorce kreskowe.

– Ten wygląda jak linijka.

– Linijki to są w szkole, ten jest dużo bardziej dokładny.

Pomiary można przeprowadzać tylko w określonych warunkach. W pomieszczeniu stoi więc duży klimatyzator, który dba o temperaturę z dokładnością do jednej dziesiątej stopnia Celsjusza.

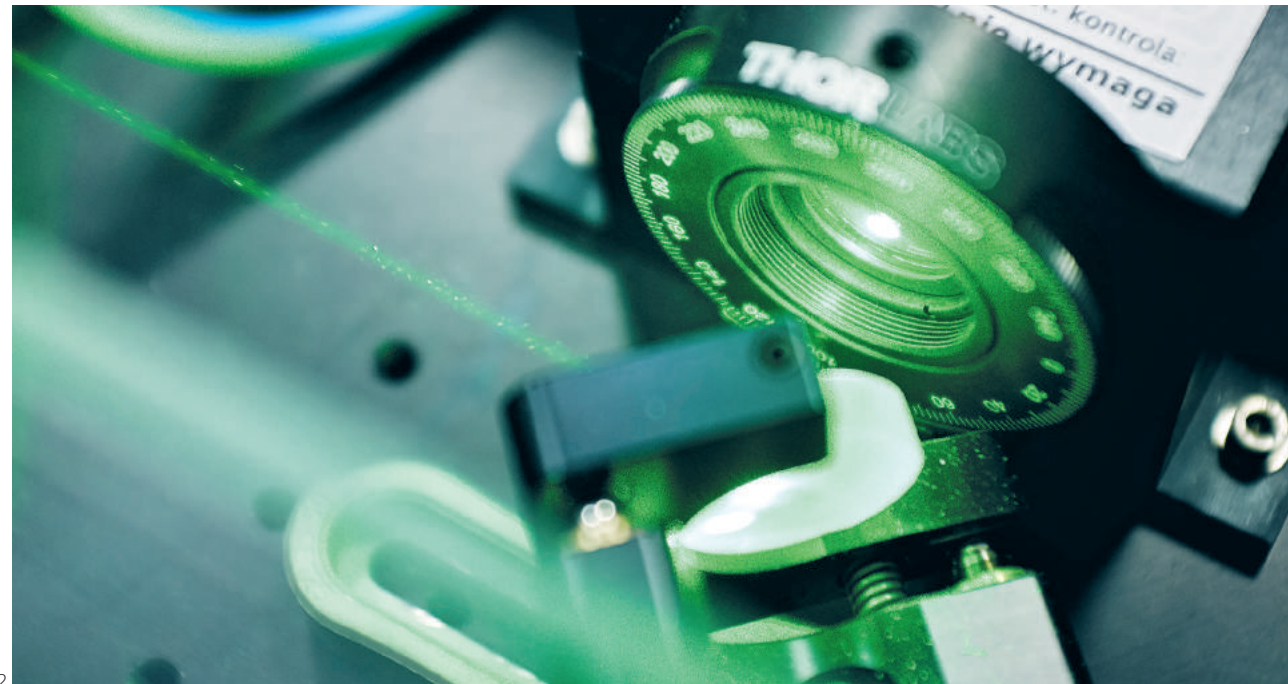
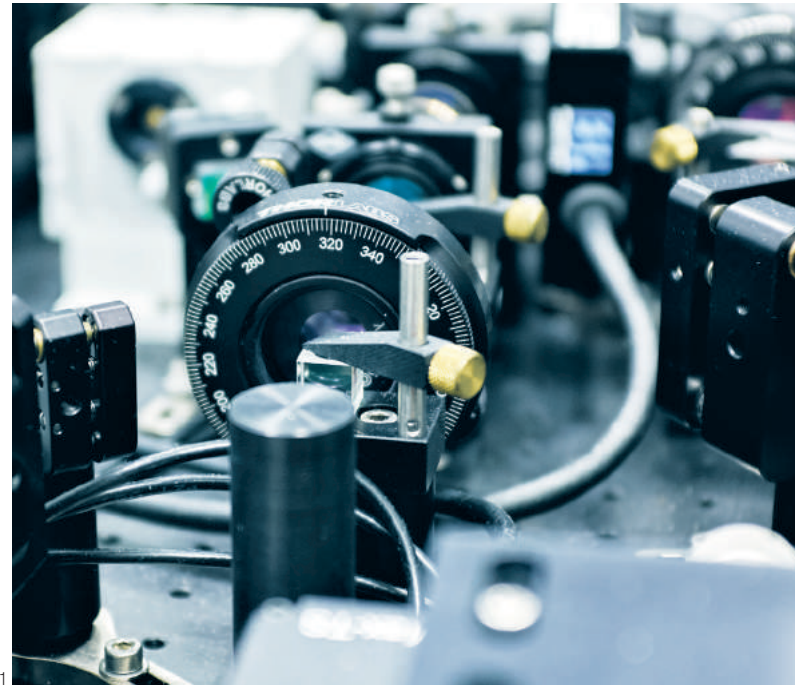
Zdarza się, że trzeba wyznaczyć większą odległość. W tym celu Główny Urząd Miar zagospodarował pięćdziesięciometrowy korytarz znajdujący się w piwnicy. Widzimy w nim urządzenie, które przypomina szynę. Na jednym z końców stoi stanowisko z laserem, na którym wzorcuje się m.in. dalmierze.

– Nie można po prostu pomnożyć jeden metr przez 50?

– Niby można, ale wtedy zwiększalibyśmy niepewność. Musielibyśmy założyć, że mamy idealny pomiar jednego metra, a nigdy tak nie jest. Gdybyśmy pomnożyli ten błąd przez 50, moglibyśmy otrzymać sporą rozbieżność.

– Umie pan w ciemno ocenić odległość?

– Powiem tak: byłem kiedyś na spotkaniu metrologów w Finlandii i jeden z pracowników instytutu zaproponował, żeby każdy zaznaczył na podziałce, jaka odległość odpowiada metrowi. Co tu dużo mówić, w większości przypadków kiepsko to wyglądało – śmieje się pan Dariusz. – Najsprytniejszy z nich oszacował odległość pomiędzy dwoma otworami, które były rozmieszczone na podziałce w regularnych odstępach i mnożył odstęp, aż otrzymał metr. Po wszystkim okazało się, że pomylił się o jakieś dwa centymetry.







# S

- Kto nastawił pierwszy zegar?  
- Astronomia! Przez wieki czas odmierzano, obserwując niebo - mówi Albin Czubła, kierownik Laboratorium Czasu i Częstotliwości.  
- Dziś wszystko funkcjonuje podobnie, z tym że wiemy, że Ziemia nie obraca się wokół własnej osi równomiernie ani też nie zawsze krąży wokół Słońca po tym samym torze.

Pan Albin zaprasza nas do pomieszczenia, w którym stoją regały. W środku znajdują się różne urządzenia, z których wystają kable. Wszystkie idą w stronę listwy przymocowanej do ściany.

- Dokąd idą te wszystkie kable?

- Różnie. Niektóre łączą się z innymi urządzeniami, a inne wysyłają sygnał na zewnątrz. Ten na przykład wysyła wzorcowy sygnał częstotliwości do Laboratorium Długości, które mieści się kilka pomieszczeń dalej.

W Laboratorium Czasu i Częstotliwości stoją obok siebie trzy zegary atomowe. Co miesiąc pomiary ze wszystkich są wysyłane do Międzynarodowego Biura Miar w Sèvres. Wyciąga się średnią ze wszystkich światowych zegarów i na jej podstawie powstaje międzynarodowy wzorzec czasu. Zegar atomowy odmierza czas minimalnie wolniej niż ruch wirowy Ziemi. Żeby zachować zgodność z czasem słonecznym, raz na jakiś czas trzeba zatrzymać zegar atomowy na sekundę.

- Dodajemy więc sekundę do ostatniej minuty w godzinie. Jest to tak zwana sekunda przestępna

- tłumaczy pan Albin.

- Kiedy to się robi?

- Wtedy, kiedy jest potrzeba. Ostatnio była potrzeba w wakacje zeszłego roku. Międzynarodowe służby monitorują różnicę czasu i kiedy staje się zbliżona do sekundy, nakazują wstrzymać zegary na sekundę. Za opóźnienie zegara są odpowiedzialne systemy automatyczne.

Pracownik Laboratorium Czasu i Częstotliwości wydaje jedynie dyspozycję komputerowi. Spowolnienie zegara atomowego o sekundę jest możliwe w sylwestra i na przełomie kwartałów - w teorii maksymalnie cztery razy w ciągu roku. W praktyce zmianę wprowadza się raz na kilka lat.

Wbrew pozorom ma to jednak kluczowe znaczenie dla funkcjonowania świata.

- Dokładne pomiary czasu są bardzo ważne przy dokładnej nawigacji, np. w transporcie morskim. Jeśli zegar atomowy jest mniej dokładny, pocisk międzykontynentalny może spaść nawet parę kilometrów dalej od miejsca, w które celujemy! Tak samo wygląda sprawa z samolotami bezzałogowymi. Poza tym, dokładny czas to też dokładna częstotliwość. To wszystko wpływa na jakość łączy komunikacyjnych - szybki internet czy telewizja w wysokiej jakości to także zasługa dokładnego pomiaru czasu - mówi pan Albin.

Obecnie wszystkie pomiary w Laboratorium Czasu i Częstotliwości dokonywane są za pomocą maszyn. Pracownicy tylko je nadzorują. Pytamy, czy zmiana czasu wymaga ingerencji człowieka. Pan Albin cierpliwie odpowiada: - Systemy synchronizacji przestawiają się same.

Kiedyś były nocne zmiany, kiedy przestawialiśmy się na czas zimowy lub letni. W tej chwili mamy podgląd przez internet. Testujemy też system, który wysyła powiadomienie na telefon, jeżeli coś się dzieje. Ale zwykle nic się nie dzieje.

Naszą rozmowę przerywa głośny, równomierny dźwięk, który odlicza sekundy. Dochodzi z jednego z zegarów.

- O, i to jest właśnie sygnał, który wysyłamy do Polskiego Radia, kiedy zaczyna się ostatnia minuta przed pełną godziną - tłumaczy pan Albin. - Proszę posłuchać, w radiu sygnał jest minimalnie spóźniony. Ale dokładność na poziomie jednej sekundy jest w tym przypadku wystarczająca.

Pan Albin podgłębnie odbiornik, który stoi na parapecie. Wybiła jedenasta. Cała Polska jest spóźniona średnio o mrugnięcie oka. **F**

1, 2. Państwowy wzorzec miary czasu to układ, który składa się m.in. z zespołu zegarów atomowych (cezowych).

