

ZARYS MERYTORYCZNY EUROPEJSKIEGO PROGRAMU BADAŃ NAUKOWYCH W METROLOGII (EMRP)

Metrologia to dziedzina naukowo-techniczna o szerokim horyzoncie poznawczym obejmującym problematykę pomiarową z obszaru prawie wszystkich dyscyplin technicznych i przyrodniczych. Jej interdyscyplinarność charakteryzuje się wspólną dla tych dziedzin metodologią dotyczącą sposobu opracowania wyniku pomiaru. U jej podstaw leży metodyka obliczania niepewności pomiaru, towarzyszące jej matematyczne modelowanie wielkości mierzonej oraz zagadnienie spójności pomiarowej. Wielkość mierzona, niezależnie od dziedziny poznania, wyrażana jest przy użyciu liczby i jednostki miary. Aby zapewnić porównywalność wyników w obszarze metrologii działa rozbudowana struktura międzynarodowa, na czele z **Międzynarodowym Komitetem Miar** odpowiedzialnym za definiowanie jednostek miar w taki sposób, aby zapewnić wystarczającą dokładność ich realizacji, adekwatną do aktualnych potrzeb rozwijającej się cywilizacji światowej oraz funkcjonują struktury krajowe odpowiedzialne za przekazywanie tych jednostek, poprzez system wzorców, do przyrządów i systemów pomiarowych, stosowanych w każdej dziedzinie gospodarki narodowej. Obecnie przyjęte definicje podstawowych jednostek miar już nie spełniają oczekiwań i w najbliższych latach ulegną zmianie tak, aby zapewnić ich wzajemne powiązanie poprzez stałe fizyczne, zmniejszyć niepewność związaną z ich realizacją i umożliwić w ten sposób budowę nowych stanowisk pomiarowych służących do odtwarzania ich z niespotykaną do tej pory dokładnością. Proces ten będzie dotyczył wszystkich podstawowych jednostek miar z wyjątkiem jednostki miary długości, której definicja, przyjęta przez Generalną Konferencję Miar w 1983 roku, oparta na stałej prędkości światła w próżni, spełnia wymagania współczesnej techniki i jest dobrym przykładem dla sposobu definiowania podstawowych jednostek w oparciu o stałe fizyczne. Te natomiast muszą być wyznaczone z możliwie największą dokładnością, możliwą do osiągnięcia przy zaangażowaniu ultranowoczesnych technologii, co związane jest z poniesieniem znacznych nakładów finansowych przez społeczność międzynarodową. To wyzwanie cywilizacyjne zaowocowało powstaniem europejskiego programu badań w dziedzinie metrologii (*European Metrology Research Programme*), w którym mogą uczestniczyć wszystkie podmioty naukowe krajów Unii Europejskiej. Komisja Europejska pragnie przeznaczyć na ten cel w najbliższych latach 250 M€. Program ten obejmował będzie również badania metrologiczne dla osiągnięcia kluczowych celów społeczno-ekonomicznych w dziedzinie zdrowia, energii, środowiska naturalnego i nowych technologii. Dla usprawnienia realizacji jego celów powołano do życia w 2007 roku europejską organizację metrologiczną o nazwie **EURAMET**.

Metrologia dla ochrony zdrowia ma wskazywać na rozwój technik pomiarowych, które służą dokładniejszej i pewniejszej diagnostyce medycznej. Działanie to wiąże się z opracowaniem nowych materiałów odniesienia najwyższego rzędu, w porozumieniu z laboratoriami medycznymi i Międzynarodową Federacją Chemii Klinicznej. W obszarze tym również wyzwaniami jest idea „człowieka wirtualnego”, dotyczącego modelu funkcjonal-

no-anatomicznego organizmu ludzkiego, stanowiącego określony standard dla przemysłu związanego z wytwarzaniem sprzętu medycznego i rehabilitacyjnego oraz służącego szkoleniu personelu związanego z opieką zdrowotną. Tu też zawarta jest diagnostyka prowadzona na podstawie graficznej informacji cyfrowej uzyskiwanej dzięki technikom przetwarzania obrazu, stosowanym coraz częściej w nowoczesnej medycynie. Programem objęte jest również oprzyrządowanie służące do analizy biosygnalów, zastosowania biomarkerów, rezonans magnetyczny, tomografia komputerowa, technika ultradźwiękowa i tradycyjnie promieniowanie jonizujące stosowane w celach diagnostycznych i terapeutycznych.

Metrologia w obszarze energetyki ma skoncentrować się na doskonaleniu przyrządów pomiarowych w celu poprawienia jakości energii elektrycznej uzyskiwanej ze źródeł odnawialnych oraz poprawienia wydajności systemów energetycznych ciepłych i jądrowych poprzez zapewnienie dokładniejszych urządzeń sterujących temperaturą i ciśnieniem w elektrowniach. Szczególny wysiłek będzie podjęty w dziedzinach związanych z technologią wodorową, ogniw paliwowych oraz związanych z wykorzystaniem energii wiatru, słońca czy biomasy. Działania mają być związane również ze zwiększeniem wydajności, elastyczności, bezpieczeństwa i niezawodności aktualnie wykorzystywanych sieci energetycznych oraz służących poprawieniu oszczędności poprzez wdrożenie inteligentnych sieci energetycznych.

Metrologia dla środowiska naturalnego koncentruje się na problematyce opracowania nowych, stabilnych wzorców pomiarowych stosowanych w procesie ciągłego monitorowania zmian klimatycznych, jak również nowatorskich czujników do globalnych pomiarów temperatury i składu chemicznego oceanów i atmosfery, z wykorzystaniem technik satelitarnych. Zajmie się również zagadnieniem pomiaru przepływu i koncentracji gatunków chronionych prawem, wydajnym i zrównoważonym użytkowaniem zasobów naturalnych, określeniem właściwości chemicznych materiałów odpadowych dla ich wtórnego przerobu, długoterminowym wiązaniem dwutlenku węgla oraz oceną i zarządzaniem hałasem w środowisku.

Metrologia związana z nowymi technologiami dotyczy przede wszystkim nanotechnologii. W tym obszarze kluczowymi wyzwaniami jest rozwój mikroskopii optycznej z użyciem sondy skanującej do analizy powierzchniowej nanostruktur w produkcji półprzewodników, rozwój systemów nanoelektronicznych, nanomagnetycznych i nanoelektromechanicznych, pomiar profilów przestrzennego rozkładu temperatur nanowodów. Istotnym zagadnieniem jest tu również dziedzina nanomateriałów z uruchomieniem badań toksyczności, kształtu, rozkładu wielkości, charakterystyk chemicznych nanocząsteczek, takich jak nanorurki i produkty spalania.

Programem objęte są również tradycyjne obszary naukowe metrologii stosowanej, takie jak pomiary długości, elektryczność i magnetyzm, czas i częstotliwość, mechanika, termometria, promieniowanie czy pomiary w chemii.

W dziedzinie związanej z pomiarami długości zwraca się uwagę na rozwój technik pomiarowych i przyrządów do pomiaru w zakresie mikro- i nanometrycznym, w tym mikroskopii i interferometrii opartej na promieniowaniu rentgenowskim, pozwalającej na osią-

gnie rozdzielczości na poziomie pikometrycznym. Metrologia wymiarowa umożliwi rozwój technik współrzędnościowych dla zaawansowanej technologicznie produkcji w przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym. Metrologia dużych odległości przyczyni się do stworzenia dokładnych globalnych map umożliwiających precyzyjną lokalizację i nawigację opartą na satelitarnych systemach pozycjonowania.

W dziedzinie związanej z elektrycznością i magnetyzmem celem jest rozwój zdolności pomiarowych dla oceny jakości i wydajności energii elektrycznej oraz dla monitorowania i ochrony sieci i urządzeń elektrycznych. Istotne jest ustalenie wskaźnika absorpcji częstotliwości radiowych i pomiary siły pola elektromagnetycznego w częstotliwościach szeroko wykorzystywanych publicznie. Te działania metrologiczne konieczne są dla rozwiązywania problemów zdrowia i bezpieczeństwa w związku z rozpowszechniającym się używaniem mobilnych urządzeń radionadawczych. Konieczna jest również rozbudowa metod pomiarowych do zakresu częstotliwości terahercowych, wspierających dalsze postępy w technologiach informatycznych i łączności o dużej szybkości. Kolejne wyzwanie w tym obszarze to rozwój ultraczułych narzędzi pomiarowych, pozwalających na kontrolę zachowania pojedynczych jednostek kwantowych, mających zastosowanie w nanoelektronicznych i nanomagnetycznych technologiach jutra. Wiąże się to również z opracowaniem mobilnych elektrycznych wzorców kwantowych, odtwarzających stabilnie wielkości, niezależnie od miejsca stosowania, czasu i wpływu warunków środowiskowych.

W dziedzinie związanej z czasem i częstotliwością konieczny jest rozwój zegarów atomowych o wyjątkowej dokładności. Obecne wzorce pierwotne czasu i częstotliwości oparte na atomach cezu powinny być zastąpione nowymi o niepewności 10^{-17} . Umożliwi to udoskonalenie i rozwój systemów nawigacji satelitarnej takiej jak systemy GPS lub Galileo.

Mechanika, która obejmuje wielkości takie jak masa, siła, moment obrotowy, ciśnienie, akustyka, drgania, ultradźwięki i przepływ, jest kluczowym narzędziem dla przemysłu, badań i społeczeństwa z powodu szerokiego zakresu zastosowań w robotyce, mikro- i nanotechnologiach, produkcji, a nawet do wspomagania diagnostyki medycznej. W konsekwencji, konieczne są niezawodne wzorce, jak również badania w celu ich ulepszenia. Zostały określone główne ścieżki działań dotyczących: innowacyjnych systemów dla dynamicznych pomiarów w produkcji, wzorców ciśnienia wysokiej próżni, zaawansowanych metod pomiaru przepływu, rozwiązań mechanicznych dla zastosowań medycznych, biotechnologicznych i farmakologicznych oraz zagadnień w dziedzinie akustyki, ultradźwięków i drgań. W tym ostatnim obszarze myśli się o technikach pomiarowych dla przemysłu lotniczego, naftowego, gazowego, farmaceutycznego i nuklearnego, zastosowaniach ultradźwięków i drgań o wysokiej częstotliwości w medycynie i opracowaniu rozwiązań w dziedzinie bioakustyki.

W termometrii konieczne są badania związane z określeniem nowych punktów termodynamicznych wysokich temperatur i technik przetwarzania obrazu termicznego. W związku z powstawaniem nowych materiałów potrzebne są techniki służące do określania ich właściwości termicznych, jak: pojemność i przewodność cieplna, izolacyjność termiczna, topnienie, wrzenie czy sublimacja. Ocieplenie klimatu stawia w tym obszarze wyzwania związane z inteligentnym monitoringiem wilgotności w skali globalnej. Kontrola wilgoci służy również zapewnieniu oszczędności energetycznej budynków mieszkalnych i jest konieczna przy produkcji, obróbce i składowaniu materiałów organicznych.

W dziedzinie promieniowania jonizującego mamy do czynienia z koniecznością opracowania nowych metod radiodiagnostyki i leczenia z wykorzystaniem protonów, neu-

tronów i ciężkich jonów oraz tworzeniem wysokiej jakości metod dozymetrii trójwymiarowej i rozwoju nowej radiofarmaceutyki. W obszarze fotometrii i radiometrii konieczna jest nowa metrologia świetlna dotycząca nowoczesnych urządzeń, materiałów fotonowych dla poprawy jakości życia człowieka poprzez monitoring optyczny i technologie przetwarzania światła. Mamy tu: nowe źródła iluminacji, problematykę wyświetlaczy i detektorów optycznych, opracowanie wzorców kwantowo-fotonowych jako źródeł pojedynczych fotonów, stworzenie systemów jednoczesnego pomiaru widma, mocy, rozkładu przestrzennego, koherencji i polaryzacji promieniowania. Istotnym problemem jest też zagadnienie wizualnej percepcji jakości produktów pozwalających na ich ocenę na podstawie wyglądu, bez konieczności odwoływania się subiektywnej wrażliwości oka ludzkiego. Wiąże się to z opracowaniem nowych technik kolorymetrycznych.

Metrologia w chemii uważana jest z jeden z najszybciej rozwijających się obszarów. Największym wyzwaniem jest tu opracowanie różnych analitów dla sieci laboratoriów europejskich zajmującymi się badaniami w obszarze chemii klinicznej, medycyny sądowej, jakości żywności czy zanieczyszczenia środowiska naturalnego, w postaci analizy śladowej, zastosowań biomarkerów, identyfikacji DNA czy toksyczności nanomolekuł. Istnieje w tej dziedzinie również potrzeba opracowania stosownych zharmonizowanych norm i przepisów prawnych.

Programem objęte są również zagadnienia związane z nowymi wyzwaniami dla metrologii związanymi z biotechnologią, nowymi materiałami oraz zastosowaniami nowoczesnych narzędzi matematycznych i informatycznych.

Problematyka bio-metrologii koncentrować się będzie wokół ochrony zdrowia poprzez prognozowanie, diagnozowanie, monitoring nowych metod leczenia, farmaceutyków, szczepionek, żywności oraz orzekaniu ich zgodności z wypracowanymi przepisami i zaleceniami. Obejme również bioprodukcję w zakresie kontroli jakości i monitoringu bioprocessów. Zajmie się też bezpieczeństwem poprzez ocenę ryzyka związanego z toksycznością, patogenami a nawet bio-terroryzmem.

Problematyka metrologii dla nowych materiałów skoncentruje się na zagadnieniach inżynierii nowoczesnych implantów medycznych, fotoogniw, biomateriałów, wielofunkcyjnych i inteligentnych materiałów hybrydowych. Należy tu prowadzić prace nad określeniem ich właściwości fizykochemicznych oraz badania związane z ich analizą strukturalną, a także związane z samym procesem ich modelowania.

Problematyka matematycznych i informatycznych narzędzi w metrologii skupi się na modelowaniu analitycznym i numerycznym wielkości mierzonej, na obliczaniu niepewności pomiaru w oparciu o symulację Monte Carlo i statystykę bayesianską oraz na metodyce oceny wyniku porównań kluczowych, których celem jest wypracowanie nowych zleceń w dziedzinie opracowania danych zgodnie z wypracowaną koncepcją, wspólną dla całego obszaru metrologii. Myśli się o stworzeniu oprogramowania komputerowego spełniającego wymagania standardów metrologicznych w dziedzinie opracowania danych pomiarowych oraz je zabezpieczających.

*Opracowanie powstało na podstawie dokumentu
European Metrology Research Programme Outline 2007*

Paweł Fotowicz