

## KIERUNKI ROZWOJU METROLOGII A EUROPEJSKIE PROGRAMY BADAWCZE

Patrycja RUŚKOWSKA<sup>1</sup>, Zbigniew RAMOTOWSKI<sup>2</sup>

1. Główny Urząd Miar  
tel.: 22 581 92 93, e-mail: p.ruskowska@gum.gov.pl
2. Główny Urząd Miar  
tel.: 22 581 95 31, e-mail: z.ramotowski@gum.gov.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono strategiczne kierunki rozwoju współczesnej metrologii w dziedzinach wymagających wsparcia infrastrukturą pomiarową opartą na zaawansowanych technologiach i nowatorskich rozwiązaniach. Opisano możliwości rozwoju i wyzwania dla metrologii występujące w obszarach dotyczących energii, środowiska, zdrowia oraz w zakresie wdrażania innowacyjnych rozwiązań pomiarowych dla potrzeb przemysłu. W dokumencie EURAMET – Strategic Research Agenda (SRA) wykazano, że współpraca instytucji metrologicznych (NMI, DI), instytucji naukowo – badawczych oraz partnerów przemysłowych w ramach Europejskiego Programu Badań w Metrologii (EMRP) w okresie 2008-2015 przyczyniła się w istotny sposób do rozwoju wzorców i metod pomiarowych oraz doskonalenia procesów standaryzacji w ww. obszarach. W ramach tej współpracy nakreślono również kierunki rozwoju światowej metrologii oraz wskazano wyzwania, jakie stoją przed nią w obliczu globalizacji, zanieczyszczenia środowiska oraz rosnących potrzeb społecznych w zakresie opieki medycznej. W artykule opisano również zasady uczestnictwa w europejskich programach badawczych oraz kierunki dalszego zaangażowania w programie EMPIR.

**Słowa kluczowe:** metrologia, Europejski Program Badań w Metrologii (EMRP), Europejski Program Badań na rzecz innowacji w dziedzinie metrologii (EMPIR).

### 1. WPROWADZENIE

Metrologia, jako nauka interdyscyplinarna silnie związana z postępem technologicznym, często wykorzystuje innowacyjne rozwiązania pomiarowe do stymulowania rozwoju badań i odkryć naukowych. Przykładowo, osiągnięcie odpowiedniego poziomu technicznych możliwości realizacji pomiarów o dużej dokładności i precyzji przyczyniło się znacząco do wynalezienia niebiesko-świecącej diody elektroluminescencyjnej [1], a także pozwoliło na opracowanie metod umożliwiających analizę stanów kwantowych cząsteczek [2]. Odkrycia naukowe stymulujące rozwój metrologii dały solidne podstawy dla konstruowania zaawansowanych technologicznie wzorców kwantowych. I tak, dzięki zarejestrowaniu kwantowego efektu Halla, w 1980 roku został opracowany stabilny, kwantowy wzorzec rezystancji, stosowany przez instytucje metrologiczne do odtwarzania w sposób pośredni jednostki natężenia prądu elektrycznego - ampera. [3].

Metrologia, poprzez rozwój i walidację metod pomiarowych, wykorzystywana jest zarówno na etapie projektowania, modelowania czy w systemach monitorowania i nawigacji satelitarnej, stosowanych między innymi w takich europejskich programach strategicznych, jak Galileo [4], czy Copernicus [5].

Rozwój gospodarczy oraz społeczny oparty na efektywnym zarządzaniu zasobami środowiska i reagowaniu na zmiany klimatu, uwzględniający takie procesy jak rosnąca urbanizacja, degradacja wywołana emisją gazów cieplarnianych, czy skażeniem wód i gleb oraz nadmierna eksploatacja zasobów naturalnych wymagają stałego monitorowania środowiska i podejmowania działań zaradczych między innymi przez implementację odpowiednich strategii oraz programów badań o zasięgu regionalnym lub międzynarodowym [6].

W obliczu rosnących potrzeb społecznych w obszarach ochrony środowiska, zdrowia oraz postępującej globalizacji na wielu płaszczyznach współpracy, rozpoczęto poszukiwania innowacyjnych rozwiązań technologicznych opartych nierzadko na dokładnych i precyzyjnych pomiarach. Stało się to silnym bodźcem dla rozwoju wielu dziedzin nauki, w tym metrologii, przed którą stoją wyzwania, między innymi w obszarach zintegrowanych systemów monitoringu, zaawansowanych technologicznie metod diagnostyki medycznej, technik komunikacji bezprzewodowej, czy też technik obliczeniowych, służących do modelowania i przewidywania budowy oraz właściwości cząsteczek lub układów ponadcząsteczkowych. Na przełomie ostatniej dekady, kolejne programy ramowe, implementowane w krajach członkowskich Unii Europejskiej, oparte na zasadach zrównoważonego rozwoju, stały się osnową również dla europejskich programów badawczych w dziedzinie metrologii. Pierwsze wspólne inicjatywy o zasięgu europejskim to programy: iMERA (realizowany w latach 2005-2007), iMERA-Plus (realizowany w latach 2008-2012) [7].

### 2. OCENA EFEKTÓW PROGRAMU EMRP

W roku 2008 wspólnymi staraniami państw członkowskich i zrzeszonych w ramach regionalnej organizacji metrologicznej – EURAMET e. V. oraz Komisji Europejskiej podjęto decyzję o powołaniu do życia Europejskiego Programu Badań w dziedzinie metrologii

(EMRP) [8]. Podstawą inicjatywy 22 krajowych instytutów metrologicznych był art. 185 Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej. Na realizację celów badawczych programu przeznaczono budżet środków publicznych w wysokości 400 mln euro na okres pięciu lat, przy współmiernym wkładzie ze strony państw uczestniczących i Unii Europejskiej.

W ramach programu zrealizowano 119 wspólnych projektów badawczych z udziałem 59 krajowych Instytutów metrologicznych (NMI) i instytutów desygnowanych (DI) z 23 państw członkowskich oraz spoza Unii. W latach 2009 – 2013 ogłoszono 111 wezwań w następujących obszarach tematycznych: zdrowie, środowisko, przemysł, szeroko pojęty układ SI, czy budowa potencjału badawczego. We współpracy badawczą włączyło się ponad 350 grup akademickich i ponad 300 partnerów przemysłowych. Dzięki projektom EMRP rozwinięto nowe technologie pomiarowe, wiedzę i umiejętności. Powstałe publikacje naukowe (w liczbie 998), zgłoszenia patentowe (w liczbie 36), prezentacje konferencyjne (w liczbie 3938) i kontrybucje metrologiczne dla celów opracowania lub doskonalenia norm technicznych (w liczbie 379) przyczyniły się do rozpowszechnienia wytworzonej wiedzy wśród szerokiej gamy potencjalnych odbiorców z sektora przemysłowego, publicznego oraz ośrodków akademickich [9, 10].

Ideą programu EMRP było zapewnienie ram prawnych, organizacyjnych i finansowych dla realizacji wspólnych projektów badawczych przez 22 państwa członkowskie [8]. Głównymi celami EMRP było inicjowanie badań wpływających na zwiększenie tempa rozwoju, walidacji i wykorzystywania nowych technik, procesów i przyrządów pomiarowych. Ważnym aspektem programu było stworzenie baz danych opartych na wytworzonej wiedzy, między innymi dotyczącej nowych wzorców i metod pomiarowych. Uzyskane rezultaty oceniono pozytywnie, stwierdzając, iż zrealizowane projekty EMRP miały istotny wpływ na rozwój innowacji w obszarach wyzwań społecznych takich, jak energia, zdrowie czy środowisko. Zdaniem Panelu oceniającego, będącego organem doradczym Komisji Europejskiej, EMRP spełnił oczekiwania na poziomie działalności operacyjnej. Integrację między uczestniczącymi w nim programami krajowymi uznano za efektywną. Zdaniem Komisji Europejskiej EMRP, po trzech latach od jego rozpoczęcia, osiągnął dobre wyniki w porównaniu do większości swoich początkowych celów operacyjnych [11]. W ramach oceny stwierdzono jednak pewne ograniczenia programu w odniesieniu do trzech wskaźników wpływu, to jest budowania potencjału, interakcji z szerszymi kręgami naukowymi oraz aktywności w zakresie mobilności badaczy. Ponadto panel zachęcił EURAMET e. V., jako instytucję zarządzającą programem EMRP, do rozważenia kwestii umożliwienia europejskim przedsiębiorstwom szybkiego wykorzystania wyników projektów badawczych tego programu i zaproponował poświęcenie większej uwagi działaniom związanym z innowacjami i transferem wiedzy w dłuższym okresie czasu. W ten sposób w 2014 roku ukonstytuował się Europejski program na rzecz innowacji i badań w metrologii (EMPIR) [12].

### 3. WYZWANIA EMPIR A STRATEGIC RESEARCH AGENDA

Na podstawie doświadczeń i obserwacji zdobytych w programie EMRP [11], wcześniejszego iMERA-Plus [7]

oraz tzw. map drogowych wypracowanych w ramach działalności Komitetów Technicznych i grup zadaniowych EURAMET oraz biorąc pod uwagę zidentyfikowane potrzeby szerokiej grupy interesariuszy, opracowany został dokument *Strategic Research Agenda for Metrology in Europe* (SRA) [10]. Pełniąc rolę programu strategicznego EURAMET, dokument ten przedstawia kierunki rozwoju metrologii europejskiej w obszarach gospodarki wymagających wsparcia nowoczesną infrastrukturą metrologiczną. Są to: zdrowie, środowisko i energia. Regionalna instytucja metrologiczna – EURAMET e. V. kładąc w nim nacisk na badania i rozwój wzorców, metod i technologii pomiarowych oraz procesów normalizacji, chce wpływać na wzrost innowacyjności, konkurencyjności i handlu międzynarodowego przy jednoczesnym zachowaniu zasad zrównoważonego rozwoju. W odpowiedzi na potrzeby interesariuszy reprezentujących różne sektory gospodarki, wskazuje wyzwania oraz kierunki rozwoju dla współczesnej metrologii w wymiarze międzynarodowym, nakreślając jednocześnie ramy dla nowego programu badań w metrologii – EMPIR (ang. European Metrology Programme for Innovation and Research) [12], skoncentrowanego na innowacjach.

### 4. KIERUNKI ROZWOJU METROLOGII W OBSZARACH WIELKICH WYZWAŃ

Analiza potrzeb oraz wymagań społecznych w obszarach ww. wyzwań, pozwoliły nakreślić kierunki rozwoju europejskiej metrologii i sformułować cele strategiczne EURAMET w tym zakresie. Program badań SRA ma na celu przyspieszenie tempa wzrostu innowacji w sektorze przemysłowym i społecznym poprzez rozwój procesów, produktów i usług, również w aspekcie ww. wyzwań.

W unijnych dokumentach programowych [6] i strategiach rozwoju państw członkowskich poprawie opieki zdrowotnej nadaje się priorytet o wysokim wymiarze politycznym i społeczno-gospodarczym. W tym obszarze zidentyfikowano najważniejsze wyzwania, obejmujące personalizację opieki zdrowotnej, starzenie się społeczeństwa i związany z tym wzrost chorób przewlekłych, w tym nowotworowych, zaburzenia neurodegeneracyjne i choroby sercowo-naczyniowe, kosztowny postęp technologiczny w badaniach przesiewowych, diagnostyce i terapiach ukierunkowanych oraz przesunięcie punktu ciężkości z diagnozy i leczenia na przewidywanie i zapobieganie chorobom.

Wyzwania strategiczne w dziedzinie metrologii w obszarze zdrowia obejmują głównie badania na rzecz innowacji w technologiach pomiarowych stosowanych w diagnostyce czy metodach spersonalizowanego leczenia. Najważniejsze cele w obszarze zdrowia to zapewnienie źródeł spójności pomiarowej w odniesieniu do jednostek Międzynarodowego Układu SI oraz opracowanie i walidacja nowych metod pomiarowych opartych na nowoczesnych i zawansowanych technologiach, mających na celu poprawę jakości i porównywalności wyników diagnostycznych i efektów terapeutycznych.

Tematyka projektów badawczych EMRP w ramach wezwań w obszarze *Zdrowie* [10] skoncentrowana między innymi była na zagadnieniach dotyczących projektowania analizatorów wydechu, rozwoju badań w dziedzinie brachyterapii, medycyny regeneracyjnej, biomarkerów nowotworowych, terapii wiązką zewnętrzną, spójności

pomiarowej pomiarów klinicznych i bezpieczeństwa rezonansu magnetycznego. Ocena i dogłębna analiza uzyskanych rezultatów pozwoliły na sformułowanie dalszych celów badawczych, a tym samym nakreślenie nowych wyzwań dla metrologii medycznej. Stwierdzono, iż innowacyjne działania w diagnostyce medycznej wymagają rozwoju metrologii w zakresie: wzorców, protokołów zgodności, rzetelności i porównywalności pomiarów – zapewnienia spójności pomiarowej. Wzrost wymagań społecznych w zakresie ochrony zdrowia sprawia zaś, iż innowacje powinny dążyć do opracowania lub doskonalenia metod pomiarowych nieinwazyjnych lub mało inwazyjnych, realizowanych w czasie rzeczywistym oraz nowoczesnych terapii spersonalizowanych. Dla tego obszaru nakreślono między innymi następujące cele badawcze:

- rozwój dozymetrii,
- terapie hadronowe,
- medycyna precyzyjna,
- nowatorskie terapie natychmiastowe,
- wzorce muliparametrowe,
- nowatorskie metodologie i wzorce podtrzymujące bezpieczeństwo i skuteczność pomiarów,
- normy i nowe narzędzia metrologiczne zapewniające kompatybilność urządzeń medycznych i odpowiednie procedury pomiarowe.

W przyszłości większe znaczenie w innowacjach w obszarze ochrony zdrowia odgrywać będzie metrologia interdyscyplinarna, przykładowo w zastosowaniach nanomedycyny, która będzie integrować technologie biochemiczne z biofizycznymi, czy biologii syntetycznej łączącej modelowanie molekularne z inżynierią biochemiczną.

Cele badawcze w obszarze *Zdrowie* będą dotyczyć między innymi takich zagadnień, jak:

- zastosowania systemów pomiarowych wspierających ulepszone, mniej zawodne i mniej inwazyjne i bardziej porównywalne pomiary kliniczne,
- zmniejszona niepewność pomiaru oraz zwiększona porównywalność wyników w całym zakresie pomiarów klinicznych i diagnostycznych,
- wytyczne i normy opracowywane w celu osiągnięcia harmonizacji między pomiarami realizowanymi za pomocą różnych urządzeń, technik i metod terapeutycznych.
- stworzenie interdyscyplinarnej infrastruktury dedykowanej pomiarom medycznym,
- stworzenie sieci instytutów metrologicznych (NMI, DI), międzynarodowej opieki zdrowotnej o kluczowym znaczeniu integrujących organizacje, kliniki, grupy wsparcia pacjentów, firmy medyczne i międzynarodowe organizacje (np. IAEA, WHO) działające na rzecz poprawy pomiarów opieki zdrowotnej.

W celu efektywnego zarządzania zasobami środowiska oraz zapobiegania skutkom zmian klimatu wprowadzane są unijne programy strategiczne oraz międzynarodowe porozumienia, jak np. Protokół z Kioto [14]. Nakreślają one kierunki współdziałania państw na rzecz adaptacji do zmian klimatu, redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz innych zanieczyszczeń przy jednoczesnym zapewnieniu trwałości zasobów naturalnych, dając wytyczne dla badań realizowanych w ramach europejskich programów badawczych, takich jak EMRP, czy EMPIR.

W ramach EMRP w latach 2010 i 2013 zrealizowano także interdyscyplinarne działania w obszarze *Środowisko*,

które dostarczyły cennych rezultatów badań i pozwoliły osiągnąć postęp w zakresie poprawy możliwości monitorowania zmian klimatu i środowiska. W ramach wezwania opracowano nowe, zaawansowane technologicznie przyrządy i możliwości pomiarowe. Przeprowadzono także porównania międzynarodowe, których wyniki przyniosły korzyści zarówno użytkownikom końcowym, jak i producentom przyrządów oraz laboratoriom metrologicznym, wykonującym pomiary do celów badań środowiskowych, meteorologicznych, czy też klimatycznych.

W rezultacie przeprowadzonego przeglądu wymagań metrologicznych odnośnie do polityk i dyrektyw UE, innych organizacji politycznych, użytkowników końcowych i dostawców technologii we współpracy z komitetami technicznymi, EURAMET zidentyfikował najważniejsze wyzwania dla metrologii w obszarze *Środowisko*. Są to między innymi:

- Rozwój metod monitorowania wskaźników zmian klimatu, opartych na analizie trendów temperatury powierzchniowej powietrza, uzyskiwanych na podstawie historycznych zapisów meteorologicznych. Przyszłe naziemne stacje pomiaru temperatury zaprojektowane do rejestrowania trendów klimatycznych wymagają wsparcia metrologicznego przy ocenie charakterystyk czujników, niepewności wzorcowania i pomiaru oraz w ocenie jakości danych i docelowych niepewności. Do pomiaru temperatury jezior, morza, lodu i profili głębokości potrzebne są jednorodne metody pomiaru dostosowane do obserwacji pochodzących z satelitów.
- Rozwój metod wykrywania optycznego i technik *in situ* służących do analizy właściwości fizycznych i chemicznych atmosfery, tj. jej stanu fizycznego, składu chemicznego, a także procesów transportowych. Badania, skoncentrowane na ustalaniu spójności pomiarowej w realizowanych pomiarach i szacowaniu niepewności, będą realizowane w celu opracowywania charakterystyk warunków atmosferycznych, w tym analizy cykli wody, ozonu, azotu, węgla i siarki oraz innych reaktywnych składników gazowych powodujących zmiany klimatu.
- Rozwój technik pomiarowych umożliwiających dokładne wykrywanie cząstek stałych, aerozoli i nanocząstek, określenie charakterystyk spójnych pomiarowo z układem SI dla ważnych danych cząstkowych, takich jak np.: rozmiar, rozkład wielkość, właściwości optyczne;
- Ustanowienie spójności pomiarowej i jakości danych w odniesieniu do wilgotności atmosferycznej i gleby oraz obiegu wody jako całości przy łącznym zastosowaniu technik *in situ*, teledetekcji oraz z systemów pomiarowych używanych w kosmosie.
- Rozwój metrologii mającej na celu ustalenie i monitorowanie spójności pomiarowej dla kluczowych zmiennych klimatycznych, tzw. ECVs (Essential Climate Variables) związanych z procesami lądowymi, wegetacją i cyklem węgla. Przykładowo, nadal brakuje wiarygodnej metody pozwalającej na ustalenie niepewności pomiaru dla ilości magazynowanego przez lasy węgla.
- Ustanowienie norm i metod potrzebnych do utworzenia w pełni zintegrowanej przestrzeni, spójnej pomiarowo z globalnym systemem obserwacji klimatu przy niepewnościach pomiaru, które są potrzebne do rejestrowania trendów w bazie danych Fundamental

Climate Data Records (FCDR) w perspektywie dziesięciu lat.

Cele badawcze w obszarze Środowisko obejmować będą interdyscyplinarne, wielkoparametrowe pomiary i metody niestandardowe. Oczekiwane rezultaty umożliwią:

- porównywalność szybko rosnącej ilości danych uzyskanych przez wiele systemów, przyrządów i metod pomiarowych, realizowanych w różnych miejscach,
- opracowanie udoskonalonych metod pomiarowych, norm technicznych i wytycznych w różnych dziedzinach metrologii w efekcie wspólnego działania wielu zainteresowanych stron,
- opracowanie nowatorskich urządzeń do wzorcowania (w tym *in-situ*) w celu zapewnienia spójności pomiarowej dla stacji badawczych, mierzących kluczowe parametry dla badań w obszarze klimatu, meteorologii i środowiska,
- zaprojektowanie przyrządów i wzorców pomiarowych umożliwiających rejestrację danych o wymiarze globalnym w perspektywie dziesięciu lat,
- określenie bezpośredniego wpływu i spójności pomiarowej w badaniach w obszarze środowiska i klimatu poprzez angażowanie we wspólne działania laboratoriów spoza NMI i DI, zwłaszcza z regionów polarnych lub zlokalizowanych w sąsiedztwie oceanów.
- dostarczanie wysokiej jakości danych w celu dokładnego wyznaczenia trendów w globalnych anomaliach temperaturowych, śladowych gazach atmosferycznych oraz zrozumienia procesów atmosferycznych, a także cykli węgla, wody i promieniowania, które współtworzą model prognozowania klimatu,
- tworzenie wspólnej infrastruktury i grup roboczych pomiędzy społecznościami metrologów a klimatologów.

Zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego stanowi priorytet najwyższej rangi w programach i strategiach rozwoju państw członkowskich. Energetyczne zasoby ulegają wyeksploatowaniu, a poszukiwania nowych wymagają znacznych nakładów finansowych. Bezpieczeństwo wewnętrznych dostaw energii zagrażają opóźnienia inwestycji i postępu technicznego. Obecnie prawie 45% produkcji energii elektrycznej w Europie pochodzi z niskoemisyjnych źródeł energii, głównie z energii jądrowej i wodnej. W niektórych regionach UE może nastąpić do 2020 r. utrata ponad jednej trzeciej zdolności wytwórczych spowodowana ograniczonym okresem eksploatacji tych instalacji. Oznacza to konieczność zastąpienia lub zwiększenia istniejących zdolności, znalezienia pewnych niekopalnych źródeł energii, dostosowania sieci do odnawialnych źródeł energii i dojścia do sytuacji, w której powstanie zintegrowany wewnętrzny rynek energii. Najważniejsze wyzwania w tym obszarze to: zmniejszenie emisji dwutlenku węgla oraz zabezpieczenie dostaw energii.

Wychodząc naprzeciw polityce energetycznej Unii Europejskiej, program EMRP w obszarze Energia uruchomił w 2009 i 2013 szereg tematów badawczych, które dotyczyły między innymi niskoemisyjnych metod wytwarzania energii w sposób konwencjonalny z węgla oraz energii ze źródeł odnawialnych. Zrealizowane wspólne projekty miały na celu:

- zwiększenie wydajności elektrowni na dużą skalę poprzez poprawę parametrów monitorowania i kontroli w urządzeniach krytycznych,
- uruchomienie nowej generacji elektrowni jądrowych, zajmujących się wyzwaniami pomiarowymi,

- przyspieszenie produkcji biopaliw i odnawialnych paliw gazowych (biogazu i / lub wodoru) przyszłej europejskiej mieszanki paliwowej poprzez wiarygodny pomiar ich kluczowych właściwości, realizowany w celu oceny jakości i zwiększenia bezpieczeństwa ww. paliw,
- uzyskiwanie danych i cennych informacji metrologicznych dla wielofazowej produkcji oleju i gazu oraz liniowe wyznaczanie lepkości płynów nienewtonowskich w sektorze energetycznym,
- opracowanie narzędzi metrologicznych wymaganych do poprawy pomiaru efektywności i efektywność obecnych urządzeń fotowoltaicznych (PV) i umożliwienie produkcji następnej generacji ogniw słonecznych,
- dostarczanie wzorców i procedur pomiarowych w celu dokładnego pomiaru elementów układu przeniesienia napędu stosowanych w systemach energii odnawialnej, takich jak farmy wiatrowe.

Najważniejsze cele badawczo-rozwojowe w obszarze *Energia* pokrywają różnorodne etapy łańcucha energetycznego oraz wielu sektorów przemysłowych. Oczekiwane rezultaty badań powinny obejmować między innymi:

- umożliwienie rozwoju i lepsze wykorzystanie odnawialnych źródeł energii słonecznej, wiatrowej dzięki zastosowaniu nowych narzędzi pomiarowych ułatwiających wprowadzanie innowacji mających na celu scharakteryzowanie i poprawę wydajności,
- opracowanie narzędzi metrologicznych wykorzystujących niskoemisyjne źródła energii oparte na węglu, takie jak biopaliwa i biogaz oraz LNG (ang. *liquefied natural gas*),
- wdrożenie usprawnień wydajności w konwencjonalnych źródłach energii i elektrowniach, w tym jądrowych poprzez realizację narzędzi pomiarowych do poprawy procesów monitorowania i kontroli *in situ* oraz rozwój stosowanych materiałów,
- doskonalenie procesów konwersji i przechowywania energii, np. wodoru, ogniw paliwowych i technologii przekształcających energię w gaz, ułatwiając w ten sposób zwiększoną absorpcję odnawialnych źródeł energii,
- doskonalenie metod monitorowania i kontroli sieci elektrycznych i gazowych, umożliwiających większą stabilność jakości dostaw oraz zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w sieciach.

Zgodnie z zasadą, iż „głównym motorem ekonomicznego rozwoju Unii Europejskiej jest innowacja”, w programie EMRP, realizowane były projekty badawcze, których cele ukierunkowano na opracowanie nowatorskich rozwiązań lub technologii pomiarowych dla potrzeb przemysłu. W obszarze *INDUSTRY* sfinansowano około trzydziestu projektów o różnorodnej tematyce. Wśród nich znalazły się: zegary mikrofalowe do zastosowań przemysłowych, biomateriały, chemikalia do analiz powierzchniowych, urządzenia elektroniczne i optyczne, komunikacja kwantowa, cienka warstwa, ultraszybka elektronika, zaawansowane materiały magnetyczne i metrologia wymiarowa w różnych skalach długości. Projekty te dostarczyły szeregu produktów, w tym nowych technik pomiarowych, metod wzorcowania, zbiorów danych i dobrych praktyk oraz wielu publikacji naukowych.

Dalsze badania i rozwój powinny być ukierunkowane na wprowadzanie innowacji w dziedzinie materiałów i procesów przemysłowych oraz ułatwianie nowych lub

znacząco ulepszonych produktów poprzez rozwój technologii pomiarowych.

Osiągnięcia działalności R&D będą obejmować: nowe i ulepszone technologie pomiarowe, materiały odniesienia nowej generacji, wzorce pomiarowe, praktyki kalibracyjne i standardy dokumentacji. Takie wyniki umożliwią przemysłowi skuteczniejsze implementowanie innowacji w zakresie materiałów, procesów i produktów oraz osiągnięcie poprawy wydajności i efektywności.

Wspierając działania na rzecz badań i rozwoju realizacji definicji i rozpowszechniania jednostek miar EURAMET w dokumencie SRA [10] wskazuje również kierunki rozwoju poszczególnych dziedzin metrologii. Kluczowym wyzwaniem dla metrologii akustyki jest rozwój ultradźwięków, infradźwięków oraz drgań w zakresie zapewnienia stabilnych wzorców podstawowych oraz metod pomiarowych. Kontynuowane będą badania na rzecz rozwijania technik optycznych dla pomiarów dźwięku, zarówno w powietrzu jak i w wodzie.

Pomiary chemiczne jako szybko rozwijająca się dziedzina wymaga czystości materiałów odniesienia będących źródłem spójności pomiarowej z układem jednostek SI oraz nowych rozwiązań i technik pomiarowych o dużej dokładności oraz zwiększonych możliwościach detekcji. Takich materiałów o wysokiej czystości dla potrzeb pomiarów chemicznych nadal brakuje lub wymagają one dalszego doskonalenia. Pomiary chemiczne ukierunkowane są między innymi na analizę makromolekuł oraz biomolekuł, analizę śladów. Ich zastosowanie odgrywa nierzadko kluczową rolę w diagnostyce medycznej, w badaniach i monitoringu zmian klimatu, czy pomiarach stabilności zasobów środowiska, ale także na poziomie przemysłowym.

Wyzwania dla metrologii elektryczności i magnetyzmu obejmują między innymi: zastosowanie nanotechnologii, umożliwiające prowadzenie pomiarów na poziomie atomowym/cząsteczkowym, w którym zachodzą zjawiska kwantowe, praktycznej realizacji kwantowych definicji jednostek układu SI, wyznaczanie wartości stałych fundamentalnych oraz rozwój inżynierii kwantowej ciała stałego. Nadal brakuje spójności pomiarowej i porównywalności przyrządów dla kwantowych pomiarów ciała stałego. Ponadto, udoskonalana będzie nadal czułość i dokładność pomiarów elektrycznych. Doskonalenie i poszerzenie skali jednostek elektrycznych nastąpi w zakresie częstotliwości teraherców (THz). Praktyczna realizacja wzorców kwantowych będzie oparta na integracji wielkiej skali półprzewodników, grafenu i nadprzewodników oraz technologii pojedynczego elektronu.

Dla potrzeb metrologii przepływów, z powodu nieakceptowalnych wartości niepewności pomiaru przy zastosowaniu klasycznych metod wzorcowania, a w szczególności przy pomiarach niskich prędkości przepływów (nl/h), w okresie następnych kilku lat najprawdopodobniej zostanie skonstruowany nowy wzorzec z wykorzystaniem absolutnego zliczania cząsteczek. Metrologia przepływów będzie rozwijana również w mikro- i nanoskali.

Rzeczywisty rozwój pomiarów promieniowania jonizującego będzie postępował w kierunku zapewnienia bezpieczeństwa i dokładności przy zastosowaniu nowych źródeł wysokiej mocy laserów (np. ELI-NP.), promieniowania hadronowego, czy promieniowania synchrotronowego. Najważniejsze wyzwania dla metrologii w tym zakresie obejmują: zbudowanie detektora typu „*dead-time*”, eliminowanie lub

inicjowanie efektów, wpływających na intensywność napromieniowania w czasie oznaczania oraz opracowanie wzorców do pomiarów neutronów o wysokiej energii – obecne ograniczenie to 20 MeV.

Pomiary długości pełnią istotną rolę w rozwoju metrologii. Wysokiej dokładności pomiary wymiarów znalazły zastosowanie między innymi w projektach *Avogadro* przy oznaczaniu struktury powierzchni, pomiarach odstępów między atomami w kuli krzemu <sup>28</sup>Si. Wyzwania i priorytety dla metrologii długości to między innymi: doskonalenie dokładności pomiarów, wsparcie dla nanotechnologii, przejście od dokładności wielkich dystansów – mierzonej w kilometrach do weryfikacji spójnej z Global Navigation Satellite System (GNSS), rozwój pomiarów optycznych długości absolutnej przy wykorzystaniu współczynnika załamania światła, technik z zastosowaniem wielu długości fal.

## 5. EMPIR – ZASADY UDZIAŁU

EMPIR, jako następcą programu EMRP (European Metrology Research Programme) [12] wspiera w swych celach i założeniach inicjatywy przewodnie strategii „Europa 2020”, w tym „Unia innowacji”, „Europejska agenda cyfrowa”, „Europa efektywnie korzystająca z zasobów” i „Polityka przemysłowa w erze globalizacji”, powiązane ściśle z rozwojem badań w dziedzinie metrologii. EMPIR stanowi platformę komunikacji pomiędzy nauką a przemysłem poprzez proponowanie rozwiązań innowacyjnych, wspieranie i rozwój normalizacji oraz standaryzacji, które umożliwiają swobodną wymianę handlową na skalę światową nowych produktów i usług. EMPIR jest realizowany i finansowany w ramach 8. programu ramowego – „Horyzont 2020” w latach 2014–2023 [13], z projektowanym budżetem wynoszącym 600 mln euro, zapewnionym wspólnie przez Komisję Europejską oraz kraje uczestniczące (wkładami w równych częściach). Udział finansowy Polski w programie badawczym EMPIR wynosi 2,5 mln euro.

Europejski program na rzecz innowacji i badań w dziedzinie metrologii (EMPIR) to w swoich celach i założeniach sukcesor Programu EMRP, który jest skoncentrowany na wspieraniu projektów z zakresu R&D w tematyce metrologicznej i jednocześnie ukierunkowanych na innowacyjność i jej transfer w formie nowych technologii do sektora przemysłowego. Program EMPIR również jest realizowany na podstawie Art. 185 Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej (pt. „*Udział Unii w programach badawczych i rozwojowych*”). Uczestnikami EMPIR są jak w poprzednim programie krajowe instytucje metrologiczne (NMI) oraz krajowe instytucje desygnowane (DI – depozytariusze wzorców państwowych). Swego rodzaju novum stanowi fakt, iż Program EMPIR stwarza możliwości równoprawnego udziału, tzn. w roli beneficjenta środków finansowych przeznaczonych na realizację projektów również ośrodkom naukowo-badawczym oraz innym podmiotom zajmującym się działalnością badawczą, które do tej pory miały do nich dość ograniczony dostęp. Dofinansowanie dla nich, pochodzące z wkładu Komisji Europejskiej (300 mln euro), do całkowitego budżetu programu EMPIR wyniesie 90 mln euro. W ramach wspólnych projektów badawczych EMPIR podjęło współpracę 37 państw członkowskich EURAMET.

Nadrzędnym celem programu EMPIR jest sprostanie wyzwaniom, przed którymi stoi europejski system badań

metrologicznych oraz czerpanie korzyści z ulepszonych rozwiązań w zakresie pomiarów w Europie.

Ogólne cele EMPIR obejmują:

- dostarczenie odpowiednich, zintegrowanych, dostosowanych do celu rozwiązań w zakresie metrologii, wspierających innowacje i konkurencyjność przemysłu, a także technologii pomiaru zapewniających rozwiązanie problemów społecznych związanych z takimi dziedzinami, jak zdrowie, środowisko i energia, w tym wsparcie rozwoju i wdrażania polityki,
- utworzenie zintegrowanego europejskiego systemu badań metrologicznych, charakteryzującego się aktywnym zaangażowaniem na szczeblu regionalnym, krajowym, europejskim i międzynarodowym.

W programie EMPIR mogą być realizowane projekty o charakterze naukowo-badawczym, których celem jest wspieranie wzrostu gospodarczego oraz tzw. Normative – dla potrzeb procesów normalizacji. Wspólne projekty badawcze JRP (ang. Joint Research Projects) powinny łączyć w sobie priorytety strategiczne kilku państw na zasadach skoordynowanej odpowiedzi (np. inteligentnej specjalizacji) w ramach regionu lub na poziomie europejskim. Propozycje tematów badawczych (Proposal Research Topics), z których formowane są przyszłe JRPs, mogą się natomiast skupiać na potrzebach krajowych w dziedzinie metrologii.

Projekty badawcze z rodzaju Research Potential Topics (RPT) powinny umożliwić rozwijającym się NMI wzrost możliwości technicznych i naukowych na poziomie krajowych i regionalnych priorytetów strategicznych. Rozwijanie kompetencji technicznych należy wiązać z potrzebami kluczowych ineteresariuszy. Projekty RPT mają na celu zwiększenie konkurencyjności przemysłu oraz wychodzenie naprzeciw potrzebom społecznym danego regionu. Ważne, aby zdolności NMI wypracowane w danym JRP były utrzymane i rozwijane również po zakończeniu projektu. W tym celu wybrane tematy badawcze będą nadal kontynuowane w ramach nowych projektów EMPIR. Ponadto, od roku 2014 są również dostępne wezwania typu Support for Impact Projects (SIPs) – wsparcie dla wdrożeń, rozszerzające wyraźnie zakres podstawowych projektów badawczych (JRPs). Wezwanie SIP nie polega na finansowaniu badań, ale na działaniach służących rozpowszechnianiu i wykorzystywaniu uzyskanej wiedzy z zakończonych już projektów IMERA-Plus lub EMRP.

Wezwanie 2015 wprowadziło moduł obejmujący projekty „pre-normalizacyjne”, mające na celu wspieranie procesów normalizacji (w tym proponowanie zmian w obowiązujących przepisach, tworzenie nowych regulacji w różnych obszarach metrologii). Pojawienie się projektów tego typu w ramach EMPIR związane jest z ważną rolą, jaką stanowią procesy normalizacyjne w rozwoju gospodarczym.

Projekty EMPIR, podobnie jak EMRP są realizowane w ramach tematycznie skategoryzowanych wezwań. W latach 2014 – 2017 EURAMET ogłosił następujące wezwania EMPIR:

**2014:** Przemysł (IND), Potencjał badawczy (RPT),

**2015:** Zdrowie (HLT), Zagadnienia normatywne (NRM), Potencjał badawczy (RPT), Szerszy zakres SI (Scope SI), Wdrożenia (SIP),

**2016:** Energia (ENG), Środowisko (ENV), Zagadnienia normatywne (NRM), Potencjał badawczy (RPT), Wdrożenia (SIP),

**2017:** Metrologia Podstawowa (FUN), Przemysł (IND), Zagadnienia normatywne (NRM), Potencjał badawczy (RPT), Wdrożenia (SIP).

W roku 2018 EURAMET wezwań EURAMET ogłosił następujące wezwania:

- Szerszy zakres SI (SIB)
- Metrologia dla zdrowia (HLT)
- Zagadnienia normalizacyjne (PREN)
- Potencjał badawczy (RPT)
- Wsparcie dla sieci metrologicznych (NET)
- Wdrożenia (SIP).

W 2018 roku, jako wsparcie zapoczątkowanego ostatnio procesu tworzenia europejskich sieci metrologicznych (EMNs), mających na celu utworzenie wspólnej europejskiej infrastruktury badawczej w obszarze metrologii, do ustalonej uprzednio listy wezwań została dołączona nowa kategoria: *Wsparcie dla sieci metrologicznych (NET)*.

## 6. PODSUMOWANIE

Europejskie programy badawcze mają zapewnić jak najlepsze wykorzystanie potencjału poszczególnych regionów, a także zapewnić poprawę w tych dziedzinach metrologii, w których zidentyfikowano punkty krytyczne. Projekty EMPIR mają przyczynić się przede wszystkim do podniesienia poziomu kompetencji instytucji metrologicznych NMI i DI, wzmocnienia kapitału intelektualnego, zwiększenia konkurencyjności gospodarki, rozwoju nowoczesnych technologii we współpracy z przedsiębiorcą i ośrodkami naukowymi w regionie. W celu stymulowania rozwoju metrologii w obszarach zdrowia, środowiska i energii, inicjatywy partnerskie EMRP, czy EMPIR będą nadal kontynuowane.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Akasaki I., Nakamura Sh., Amano H., nagroda Nobla z 2014 r.
2. Dąbrowski M., Parniak M., Wasilewski W. Einstein-Podolsky-Rosen paradox in a hybrid bipartite system, *Optica* 4, 2017, s. 272-275.
3. Störmer H. L.: The fractional quantum Hall effect, “*Rev.Modern Phys.*” tom 71, 1999, s. 875–889.
4. Galileo begins serving the globe (ang.). Europejska Agencja Kosmiczna, 2016-12-05.
5. Copernicus: Nowa nazwa europejskiego programu monitorowania Ziemi, europa.eu, ([http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-12-1345\\_pl.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-12-1345_pl.htm)).
6. Unijny program Strategia EUROPA 2020, (<https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-and-fiscal-policy-coordination/eu-economic-governance-monitoring-prevention-cor>).
7. Implementing Metrology in the European Research Area (iMERA-Plus), raport EURAMET (<https://www.google.com/search?q=imera+rreport&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b>).
8. Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady nr 912/2009/WE z dnia 16 września 2009 r. w sprawie udziału Wspólnoty w Europejskim Programie Badawczo-Rozwojowym w dziedzinie Metrologii, podjętym przez kilka państw członkowskich, Dz. U. L 257/12 z 30.9.2009.
9. Final Evaluation of the European Metrology Research Programme (EMRP) and Interim Evaluation of the European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), (<http://kemianseurat.fi/finntesting/wp-content/uploads/2014/04/Final-evaluation-of-the-Eur>

- opean-Metrology-Research-Programme-EMRP-and-interim-evaluation-of-the-European-Metrology-Programme-for-Innovation-and-Res.pdf.
10. Strategic Research Agenda for Metrology in Europe, wersja 1.0, 2016, (<https://www.euramet.org/research-innovation/sra-survey/>).
  11. Dokument roboczy służb Komisji – Streszczenie oceny skutków towarzyszących dokumentowi Wniosek DECYZJA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY w sprawie udziału Unii Europejskiej w Europejskim programie na rzecz innowacji i badań w dziedzinie metrologii (EMPIR) podjętym przez kilka państw członkowskich /\* SWD/2013/0250 final/.
  12. Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady nr 555/2014/UE z dnia 15 maja 2014 r. w sprawie udziału Unii w Europejskim programie na rzecz innowacji i badań w dziedzinie metrologii (EMPIR) podjętym wspólnie przez kilka państw członkowskich, Dz. U. L 169/27 z 7.6.2014.
  13. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1291/2013 z dnia 11 grudnia 2013 r. ustanawiające „Horyzont 2020” - program ramowy w zakresie badań naukowych i innowacji (2014-2020) oraz uchylające decyzję nr 1982/2006/WE (Dz.U. L 347 z 20.12.2013, s. 104-173).
  14. Kyoto Protocol, unfccc.int, (<https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol>).

## **DIRECTIONS OF METROLOGY DEVELOPMENT AND EUROPEAN RESEARCH PROGRAMS**

The article presents strategic directions of development of contemporary metrology in areas requiring support with a measurement infrastructure based on advanced technologies and innovative solutions. It describes development opportunities and challenges for metrology in the areas of: energy, environment, health and in the area of innovative support for industry. As demonstrated in the EURAMET - Strategic Research Agenda (SRA) document, the collaboration between metrological institutions (NMI, DI), research and industrial partners under the European Program for Research in Metrology (EMRP) carried out in 2008-2013 has contributed significantly in development of measurement standards and methods and improved standardization processes in the areas of great challenges. As a result of European collaboration the development metrology directions have been outlined and there have been identified the challenges of world metrology in the face of globalization, environmental pollution and increasing social needs in the field of medical care. The article also presents the principles of participation in European research programs and describes the directions of further partner involvement of entities in the EMPIR program.

**Keywords:** metrology, European Metrology Research Programme (EMRP), European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR).

