NAUKA 2/2012 • 93-114

WOJCIECH T. CHYLA

Geneza i współczesność NIST z odniesieniami do realiów funkcjonowania metrologii w Polsce

Wstęp

Choć kilka europejskich instytutów metrologicznych ma wybitne osiągnięcia naukowe i cieszy się wielkim prestiżem, to największy i najwyżej ceniony jest amerykański National Institute of Standards and Technology (NIST). Niniejszy artykuł poświęcony jest genezie Krajowego Instytutu Metrologicznego USA *(National Bureau of Standards*, NBS, przekształcony w NIST w 1988 r.), a także jego współczesności. Szersze podjęcie tego tematu wynika z przekonania, że znajomość warunków pracy wiodącego w skali światowej instytutu metrologicznego może stać się istotnym przyczynkiem do dyskusji o przyszłym kształcie metrologii naukowej w Polsce. Autor jest bowiem przekonany, że pragmatyzm w wyznaczaniu celów polskiej metrologii naukowej wymaga równowagi między romantycznym wezwaniem „mierz siły na zamiary" a racjonalistycznym „mierz zamiar według sił".

Metrologia nie jest bytem samoistnym, ale jest głęboko osadzona w potencjale gospodarczym i naukowym państwa. Porównanie polskich realiów z warunkami pracy czołowego instytutu metrologicznego na świecie wskazuje, że osiągnięcie przez polską metrologię naukową standardów światowych nie będzie procesem krótkim, łatwym i bezinwestycyjnym, ale przecież trzeba będzie kiedyś wykonać pierwszy krok w tym kierunku.

Jednolity system wag i miar jako czynnik państwowotwórczy

Doniosłe znaczenie jednolitych oraz dokładnych wag i miar dla integralności państwa i sprawnego funkcjonowania jego gospodarki doskonale rozumieli ojcowie-założyciele Stanów Zjednoczonych, autorzy Deklaracji Niepodległości z 1776 roku. Obowiązująca do dziś Konstytucja Stanów Zjednoczonych (z 27 późniejszymi poprawkami), przyjęta w roku 1787, w artykule I, rozdział 8. nakłada na Kongres obowiązek ustanowienia jednolitych wzorców wag i miar. W rok po objęciu urzędu prezydenta USA (1789 r.), George Washington wygłosił pierwsze orędzie o stanie państwa (1790 r.), w którym wymienił jednolitość waluty oraz wag i miar jako czynnik państwowotwórczy najwyższej rangi. W innych pismach z tego samego okresu (1790 r.) prezydent Washington stwierdza, iż miary i wagi są – obok mennicy, poczty, dróg, milicji (*militia* oznaczała

Dr. Wojciech T. Chyla, Applied Science Enterprise, Warszawa, e-mail: chylawt@wp.pl

wówczas obywatelskie siły zbrojne) i zagospodarowania nowych terytoriów – najważniejszymi wyzwaniami ówczesnego państwa.

Również twórca II Rzeczypospolitej, marszałek Józef Piłsudski, doskonale rozumiał znaczenie jednolitych wag i miar dla integralności, suwerenności i rozwoju gospodarczego odrodzonego państwa polskiego. W ciągu trzech miesięcy od odzyskania niepodległości (11 listopada 1918 r.) wydał on Dekret o Miarach (8 lutego 1919 r.), a wkrótce potem (1 kwietnia 1919 r.) powołano do istnienia Główny Urząd Miar (GUM), któremu następnie właściwy minister nadał Statut.

Ustanowienie międzynarodowego metrycznego układu jednostek miar

Rozwój nowożytnej nauki, datujący się co najmniej od czasów Izaaka Newtona, i idący w ślad za tym rozwój techniki, przemysłu i handlu, napotkał pod koniec XVIII w. poważne ograniczenia ze względu na różnorodność miar stosowanych w różnych krajach, a nawet w obrębie jednego państwa. Problem ów był ściśle związany z dokładnością i uczciwością pomiarów. Zagadnienie to podjęto w okresie rewolucji francuskiej wprowadzając w dniu 7 kwietnia 1795 r. dziesiętny układ metryczny na całym terytorium ówczesnej Francji. Chociaż do wielu „wynalazków" Rewolucji Francuskiej (takich jak komuna rewolucyjna, gilotyna czy zmiana kalendarza) świat zewnętrzny podchodził z dużą wstrzemięźliwością, to zalety układu metrycznego zauważono i poza granicami Francji. W najbardziej zaawansowanych technologicznie krajach zaczęło wówczas przeważać przekonanie o konieczności wprowadzenia jednolitego *międzynarodowego* systemu miar, który docelowo objąłby cały świat. Silnym impulsem do rozprzestrzeniania się układu metrycznego były Wystawy Światowe w Londynie (1851) i Paryżu (1855), które uświadomiły ówczesnym decydentom globalizację (na ówczesną miarę) nauki, techniki, przemysłu i handlu. Układ metryczny dopuszczono do stosowania w Wielkiej Brytanii w 1864 r., a w 1868 r. został on wprowadzony jako obowiązujący w Niemczech.

W roku 1870 J.C. Maxwell zaproponował, by podstawowe jednostki miar związać z właściwościami atomowymi, a nie z wielkościami umownymi (takimi jak rozmiar Ziemi, szybkość jej obrotu czy też masa umownego artefaktu), które mogą zmieniać się pod wpływem procesów naturalnych, a które były podstawą francuskiego układu metrycznego. W owym jednak czasie, aż do przełomu XIX i XX w., istnienie atomów było jedynie śmiałą hipotezą postawioną przez J. Daltona, użyteczną głównie dla chemików oraz fizyków zajmujących się kinetyczną teorią gazów, i nie było wówczas technicznych możliwości dokładnego pomiaru parametrów tak małych obiektów. Z tego powodu zdecydowano, by międzynarodowy układ jednostek miar był oparty na artefaktach i w dniu 20 maja 1875 r. siedemnaście państw, a wśród nich Stany Zjednoczone, Francja, Niemcy, Rosja, Austro-Węgry, Hiszpania i kilka innych potęg europejskich oraz państw pozaeuropejskich podpisało Konwencję Metryczną, na mocy której utworzono w Sèvres

(Francja) Międzynarodowe Biuro Miar (BIPM), którego zadaniem było – i jest do dziś – utrzymywanie międzynarodowych metrycznych wzorców jednostek miar i prowadzenie badań związanych ze wzorcami układu metrycznego.

Chociaż Stany Zjednoczone były pierwotnym sygnatariuszem Konwencji Metrycznej i otrzymały kopie międzynarodowych wzorców jednostek długości i masy, na terenie tego kraju do dziś powszechnie stosuje się niemetryczny system miar (stopy, uncje, funty, galony i mile), zarówno w życiu codziennym, jak i w większości działów gospodarki.

Polska nie uczestniczyła bezpośrednio w Konwencji Metrycznej, ponieważ nie była wówczas suwerennym podmiotem prawa międzynarodowego. Wszyscy trzej zaborcy Polski, tzn. Rosja, Niemcy i Austro-Węgry podpisali Konwencję, ale funty, pudy, arszyny i włóki były dalej w powszechnym użyciu, aż do odzyskania niepodległości w 1918 r.

Geneza krajowych instytutów metrologicznych i powstanie NIST

Usytuowanie BIPM w Sèvres pod Paryżem dało znaczną przewagę gospodarce francuskiej w stosunku do innych państw, wskutek łatwiejszego dostępu francuskiego przemysłu i handlu do najwyższej jakości wzorców i usług pomiarowych. Rząd niemiecki, zaalarmowany przez mówiących w tej sprawie jednym głosem przedstawicieli rodzimego przemysłu i nauki, utworzył w Berlinie w 1887 r. Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR, obecnie PTB). Ten sam mechanizm, czyli konieczność sprostania konkurencji innych państw, doprowadził wkrótce (w 1900 r.) do ufundowania brytyjskiego National Physical Laboratory (NPL), a w rok później amerykańskiego National Bureau of Standards (NBS, obecnie NIST). Te trzy instytuty są nadal wiodącymi państwowymi placówkami naukowo-badawczymi w skali światowej.

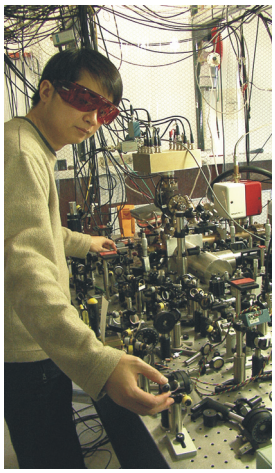
National Bureau of Standards działało nieprzerwanie od roku 1901 do roku 1988, gdy NBS został przekształcony w National Institute of Standards and Technology. NIST pozostał jednak w dalszym ciągu autonomiczną, choć szczodrze finansowaną z budżetu federalnego, agencją Ministerstwa Gospodarki USA (*Department of Commerce*). Zmiany organizacyjne spowodowane były rozbudową tej głównej instytucji metrologicznej w kraju w związku z rysującym się wówczas wyścigiem technologicznym, którego symbolem był program obrony strategicznej znany jako Wojny Gwiezdne, oraz koniecznością modernizacji przemysłu amerykańskiego. Należy podkreślić, że chociaż gospodarka amerykańska znajduje się całkowicie w rękach prywatnych, to stworzenie warunków jej pomyślnego rozwoju należy do podstawowych obowiązków rządu federalnego.

Obecnie wszystkie państwa uprzemysłowione posiadają własne Krajowe Instytuty Metrologiczne (*National Metrology Institute*, NMI), prowadzące badania naukowe i wzorcowania na miarę swych możliwości i potrzeb krajowej gospodarki. Rolę Krajowego Instytutu Metrologicznego w Polsce pełni Główny Urząd Miar, stanowiąc podstawę całej struktury metrologicznej i państwowej administracji miar.

Profil działalności NIST a status i zakres odpowiedzialności GUM

Rola Krajowego Instytutu Metrologicznego (NMI) różni się istotnie od misji akademickich jednostek naukowo-badawczych, dla których element poznawczy odgrywa rolę dominującą, a zastosowania dokonanych odkryć i płynące z nich korzyści mogą być tak odległe, że trudno je skonkretyzować w momencie podejmowania programu badań. NIST, podobnie jak i inne krajowe instytuty metrologiczne, ma cele praktyczne i choć podejmuje zagadnienia o charakterze czysto naukowym, to nawet wówczas ich perspektywiczne zastosowania są oczekiwane.

Przed NIST jako instytutem finansowanym budżetowo stoi strategiczne zadanie wspierania innowacyjności i konkurencyjności amerykańskiego przemysłu i handlu dla dobra całej gospodarki, której ostatecznym celem jest wzrost jakości życia obywateli. Zadanie to jest realizowane poprzez prowadzenie badań naukowych i badań w dziedzinie zastosowań metrologii, budowę nowych wzorców pomiarowych, opracowywanie nowych procedur pomiarowych oraz wdrażanie do praktyki metrologicznej odkryć dokonanych w innych dziedzinach nauki. Utrzymanie i rozwój istniejących wzorców (ryc. 1), zapewnienie spójności pomiarowej i dostarczanie usług pomiarowych na najwyższym poziomie metrologicznym dla amerykańskiego przemysłu i handlu pozostaje nadal w głównym nurcie odpowiedzialności merytorycznej NIST.



Ryc. 1. Najdokładniejszy obecnie zegar atomowy na świecie znajduje się w NIST. Żeby zegar ten spóźnił się lub przyspieszył o 1 s, trzeba by czekać ponad 3,7 mld lat; wiek Ziemi ocenia się na 4,5 mld lat, a wiek wszechświata na 13,7 mld lat. *Credit: J. Burrus/NIST*

NIST jako autonomiczny, ale finansowany z budżetu państwa ośrodek naukowo-badawczy bierze udział w rozwiązywaniu stojących przed państwem wyzwań na skalę federalną, szczególnie tych, które pojawiają się nagle i niespodziewanie, jak np. cała sfera zagadnień związanych ze wzrostem zagrożenia terroryzmem światowym. Na przykład, Instytut prowadzi badania w dziedzinie ochrony przed zagrożeniami chemicznymi, przed zagrożeniem pożarowym, a także pracuje nad elektroniczną identyfikacją patogenów biologicznych. Przykładem innego zadania istotnego dla całego państwa jest opracowanie

wzorców biometrycznych i takich elektronicznych metod identyfikacji osób, które umożliwią obywatelom udział w wyborach (federalnych i stanowych) przez Internet.

Zakres odpowiedzialności NMI krajów najwyżej rozwiniętych technologicznie jest bardzo podobny do zadań stawianych NIST-owi [1, 2], tzn. dominują prace o charakterze naukowo-badawczym i wdrożeniowym, a wzorcowania na rzecz podmiotów zewnętrznych podejmowane są wówczas, gdy firmy komercyjne nie są w stanie im sprostać. GUM ma nieco inne priorytety i zadania do wykonania: np. w 2008 r. w GUM przeprowadzono 21 tys. wzorcowań, co stanowi ok. 81% czynności metrologicznych wykonywanych w urzędzie, zaś okręgi wykonują głównie czynności prawnej kontroli metrologicznej (blisko 3 mln legalizacji) i wzorcowania. W zakresie probiernictwa w 2008 r. wykonano ponad 10 mln badań i cechowań.

Pomimo najlepszych chęci personelu GUM, możliwości prowadzenia badań naukowych i rozwojowych są obecnie niewielkie. Istotna różnica między charakterem pracy GUM a innymi NMI wynika m.in. stąd, że GUM jest prawnie usytuowany jako urząd państwowy, a nie jako państwowy instytut naukowo-badawczy.

Zmiana obecnego profilu działania Głównego Urzędu Miar jest bardzo poważnym przedsięwzięciem, do którego przymiarki trwają już od kilku lat. Wstępnym warunkiem powodzenia spodziewanej reformy jest to, by nie odbyła się ona kosztem obecnych zadań GUM, ponieważ potrzeby gospodarki w tym zakresie nadal istnieją.

Stworzenie nowoczesnego krajowego centrum badań naukowych w dziedzinie metrologii można zrealizować na wiele sposobów. Na jednym krańcu plasuje się rozwiązanie szybkie i radykalne, polegające na powołaniu autonomicznego, państwowego instytutu naukowego zgodnie z zaleceniami zagranicznych ekspertów [3], z opcją instytucjonalnego odseparowania metrologii prawnej od metrologii naukowej. Takie podejście wiąże się z koniecznością zainwestowania dziesiątków milionów złotych już w momencie tworzenia takiej placówki, a stworzenie silnej kadry naukowo-badawczej i tak będzie wymagać czasu liczonego w latach – bo jest to proces, którego nie da się zadekretować. Na drugim krańcu plasuje się rozwiązanie ewolucyjne, które może polegać na stopniowym budowaniu kadry naukowej w ramach obecnej struktury organizacyjnej GUM przez tworzenie etatów naukowych i finansowanie laboratoriów naukowo-badawczych (obok obecnie działających w GUM laboratoriów wzorcujących o charakterze usługowym) i dopiero potem powołanie na tej bazie materialnej i kadrowej polskiego NMI. Takie podejście pozwoliłoby rozłożyć nakłady budżetowe w czasie, jednak problem braku kompatybilności GUM z NMI krajów zaawansowanych technologicznie pozostałby nierozwiązany przez wiele lat. Ponadto, możliwość działania struktury naukowej wewnątrz urzędu państwowego nasuwa wiele wątpliwości zarówno prawnych (np. mechanizm absorpcji funduszy zewnętrznych na badania naukowe prowadzone w GUM), jak i praktycznych. Konsekwentne budowanie struktury naukowej przez wiele lat, w warunkach ekstremalnego

i chronicznego niedofinansowania obecnych zadań GUM (np. kilkukrotne zmniejszenie funduszy na modernizację w ciągu ostatnich kilku lat, z ok. 10 mln zł w 2005 r. do ok. 2 mln zł w 2009 r.), bez możliwości swobodnego dysponowania środkami finansowymi wypracowanymi samodzielnie oraz uzyskanymi z grantów badawczych – jest mało realne.

Niezbędnym warunkiem prawidłowego funkcjonowania GUM jest przyznanie tej instytucji statusu państwowej jednostki organizacyjnej posiadającej osobowość prawną. Bez posiadania osobowości prawnej GUM nie będzie równorzędnym partnerem dla NMI innych krajów i nie będzie w stanie efektywnie zdobywać i absorbować unijne środki finansowe na badania naukowe, np. z europejskiego programu FP7 czy EMRP (Europejski Program Badań w Metrologii, *European Metrology Research Programme*). Tej przeszkody nie usuną żadne protezy prawne, które mogłyby kojarzyć się z balansowaniem na granicy kreatywnej księgowości (np. wydzielone konta Urzędu, na które bezpośrednio wpływałyby fundusze zagraniczne). Problemu tego nie rozwiąże również tworzenie fikcyjnej konstrukcji prawnej, na mocy której to administracyjna jednostka nadrzędna (ministerstwo) staje się stroną kontraktu badawczego i dysponentem zagranicznych funduszy badawczych, a rzeczywistemu inicjatorowi i wykonawcy projektu badawczego (GUM-owi) przypisuje się pozycję wasalną.

W podobnej sytuacji prawnej znalazła się przed paru laty europejska Regionalna Organizacja Metrologiczna (RMO), EUROMET, która również nie posiadała osobowości prawnej i nie mogła starać się o unijne środki finansowe na badania naukowe. Z tego powodu EUROMET błyskawicznie przekształcił się w posiadający osobowość prawną EURAMET (11 I 2007 r.), który w kilka miesięcy później (1 VII 2007 r.) uzyskał status europejskiej RMO, a następnie wywalczył dotację z Unii Europejskiej w kwocie 200 mln euro na badania naukowe w dziedzinie metrologii i obecnie administruje programem EMRP wartym co najmniej 400 mln euro. Innymi słowy, status prawny organizacji można i trzeba dostosować tak, by miała ona solidne podstawy finansowe i kompetencje merytoryczne do sprostania swej misji, zamiast potulnie godzić się na trwanie w formalnoprawnej niepełnosprawności.

Finanse NIST

Wielkie zadania stawiane przed ważną instytucją potężnego kraju muszą być odpowiednio finansowane. W roku budżetowym 2010/2011 plan federalny przeznaczył dla NIST kwotę 856,6 mln dol., a projekt budżetu na rok 2011/2012 przewiduje finansowanie w wysokości 918,9 mln dol. Ponadto badania i usługi wykonywane dla innych agencji rządowych dają przychód w wysokości 101,5 mln dol.

Plan na rok finansowy 2010/2011 uwzględnił również przychody w wysokości 49,9 mln dol. uzyskane z działalności komercyjnej (wzorcowania, ekspertyzy, budowa i sprzedaż wzorców), przy czym kwota ta jest opodatkowana podobnie jak dochody w prywatnych firmach komercyjnych.

W roku finansowym 2010/2011 dostępne były dodatkowo środki finansowe w wysokości 590 mln dol., z ogólnej kwoty 619 mln dol. przyznanej ustawą antykryzysową, z przeznaczeniem na stworzenie Programu Innowacji Technologicznych (*Technology Innovation Program*). Program ten, choć zarządzany przez NIST, przewiduje tworzenie konsorcjów badawczych z udziałem wielu instytucji, zarówno akademickich, jak i firm komercyjnych. W ramach tego programu finansowane są badania, których powodzenie obarczone jest wysokim stopniem ryzyka, ale ich ewentualne powodzenie wiąże się z ogromnymi korzyściami dla gospodarki i społeczeństwa USA (*high-risk, high-reward research*). W sytuacji wysokiego ryzyka stawiany jest wymóg, by wkład instytucji zainteresowanych wynosił co najmniej 50% całkowitego budżetu takiego projektu.

Wysokie finansowanie budżetowe działalności NIST wynika z przeświadczenia, że postęp technologiczny jest głównym czynnikiem wzrostu dobrobytu w korzystnej sytuacji ekonomicznej, a także ważnym elementem walki z kryzysem gospodarczym. W uboższych krajach naszego kręgu cywilizacyjnego widać analogiczny związek przyczynowo-skutkowy: niski poziom finansowania nauki idzie w parze z niskim poziomem życia, ale dociekanie, co jest przyczyną, a co skutkiem, byłoby podobne do dyskusji na temat starszeństwa kury lub jajka. Niestety, krótkiej kołdry budżetowej nie da się szybko wydłużyć bez zwiększania deficytu kosztem przyszłych pokoleń, ale jednak można ją wystawić na widok publiczny i wytrzepać mole wygryzające w niej pokaźne dziury dla swej wyłącznej korzyści.

Dla porównania zauważmy, że budżet GUM oraz podległych terenowych jednostek metrologicznych i probierczych na rok 2010 wynosił ok. 126 mln zł (ok. 40 mln dol.). Jednocześnie ok. 80 mln zł (ok. 22 mln dol.), generowanych dzięki wykonywaniu usług metrologicznych, trafia do skarbu państwa. Innymi słowy, pomimo że GUM jako urząd państwowy nie może stosować w swej działalności reguł rynkowych, to wraz z jednostkami podległymi „samofinansuje" się w 56%, w porównaniu do ok. 5% „samofinansowania" w przypadku NIST i innych czołowych NMI. Problem jednak tkwi w tym, że głównym zadaniem NMI nie jest wykonywanie rutynowych wzorcowań i uzyskiwanie dochodów, ale prowadzenie działalności naukowo-badawczej będącej podstawą tworzenia i utrzymania krajowej infrastruktury metrologicznej na najwyższym światowym poziomie po to, by ułatwić konkurowanie na globalnym rynku i generowanie zysku krajowym podmiotom gospodarczym, szczególnie tym z sektora wysokich technologii. Miarą (braku) możliwości GUM w zakresie modernizacji (nie mówiąc o badaniach naukowych) jest kwota ok. 2 mln zł (ok. 0,7 mln dol.) przeznaczona na ten cel w budżecie 2009 r. dla centrali i jednostek podległych.

Istnieje oczywiście bardzo proste i ponętne rozwiązanie kwestii finansowania metrologii naukowej w sytuacji trudności w sektorze finansów publicznych: można postawić wymóg prowadzenia badań „sposobem gospodarczym" (bezinwestycyjnie). Takie

podejście do pracy badawczej skutkuje produkcją tzw. parochial science („nauki zaściankowej"), co jest zjawiskiem dobrze w Polsce znanym i opisanym [4, 5], wpisującym się w tradycję „wyrobów czekoladopodobnych" w sferze nauk doświadczalnych.

Mierniki efektywności finansowania budżetowego NIST

Współczesna nauka, w tym również metrologia, wymaga tak znacznych nakładów finansowych, że sprostać im jest w stanie jedynie budżet na poziomie państwowym. Działalność NIST oraz innych krajowych instytutów metrologicznych (NMI) jest finansowana w ok. 95% z budżetu państwa. Tak znaczne nakłady ze środków budżetowych wymagają nie tylko uzasadnienia merytorycznego, opracowanego przez ekspertów technicznych dla ekspertów technicznych, ale również mierników łatwo zrozumiałych dla autorów budżetu federalnego oraz dla przeciętnego podatnika, który składa się na budżet państwa. Takimi prostymi wskaźnikami są dane na temat efektów finansowych pracy NIST oraz liczba opracowań technicznych i publikacji naukowych.

Zbieraniem informacji i formułowaniem wymiernej oceny działalności NIST zajmuje się odrębna komórka organizacyjna, Grupa Planowania Strategicznego i Analizy Ekonomicznej (*Strategic Planning and Economic Analysis Group*, SPEA) usytuowana w Biurze Programowym (*Program Office*) podległym bezpośrednio dyrekcji NIST. SPEA analizuje efekty ekonomiczne i technologiczne programów NIST, a ich raporty są uwzględniane przy planowaniu strategicznym w skali całego instytutu oraz w stosunkach z instytucjami zewnętrznymi, a w szczególności z Ministerstwem Gospodarki, Kongresem, Białym Domem i mediami. Obiektywizm opracowań SPEA zapewnia udział czynników zewnętrznych w ich formułowaniu, wykorzystanie różnorodnych metod analizy oraz stosowanie procedur i wytycznych określonych przez biuro budżetowe Białego Domu oraz Kongres. Wiarygodność ocen podnosi również fakt, iż połowa laboratoriów NIST jest corocznie audytowana pod względem technicznym oraz z punktu widzenia wartości merytorycznej ich prac przez National Research Council, czyli prestiżową instytucję zewnętrzną. Ekspertyzy zewnętrzne zapewnia również 7 innych organizacji i komitetów wyspecjalizowanych w poszczególnych dziedzinach, od krajowego zespołu ds. bezpieczeństwa w budownictwie po komitet ds. zaawansowanych technologii.

Skutki ekonomiczne i finansowe analizowane są oddzielnie dla poszczególnych programów badawczych NIST. W okresie 2000-2009 przeprowadzono 14 takich kompleksowych analiz efektów ekonomicznych, które wykazują, że średni stosunek korzyści ekonomicznych do nakładów w tym okresie wynosił 36:1, zaś najbardziej efektywne były badania w dziedzinie paliw kopalnych (BCR = 113:1) i telekomunikacji (BCR = 109:1). Innymi słowy, 1 dolar zainwestowany w NIST przynosił średnio 36 dolarów korzyści ekonomicznych firmom amerykańskim; zwróćmy uwagę na to, że to nie NIST ma przynosić zyski, ale działalność NIST ma ułatwiać generowanie zysków innym podmiotom krajowym.

Nie wszystko da się przeliczyć na gotówkę; pogłębione analizy SPEA zawierają również opisową ocenę społecznych i środowiskowych efektów pracy NIST.

Kto mieczem wojuje, ten od miecza ginie. Pióro to nie miecz, choć bywa ostre; w nauce zinstytucjonalizowanej obowiązuje więc inne prawo: kto piórem nie wojuje, ten z braku publikacji ginie. Świetnie wiedzą o tym pracownicy NIST, którzy chętnie dzielą się swoimi osiągnięciami naukowymi i technicznymi z całym światowym środowiskiem naukowym, ku własnemu i powszechnemu pożytkowi. Pracownicy NIST są autorami ok. 2200 publikacji rocznie; w laboratoriach NIST opracowuje się ok. 100 różnych typów przyrządów pomiarowych rocznie, a ok. 6000 przyrządów i układów pomiarowych jest wytwarzanych i przekazywanych kontrahentom na zasadach komercyjnych. Baza danych NIST jest niezwykle rozbudowana i cieszy się dużym zainteresowaniem użytkowników na całym świecie, czego dowodzi fakt, iż rocznie pobieranych jest z niej ok. 130 mln jednostek informacji; zainteresowane osoby przekonają się jednak, że dostęp do niektórych zbiorów danych jest płatny.

W GUM nie ma komórki analizującej efekty ekonomiczne pracy Urzędu w skali całej gospodarki oraz w ujęciu sektorowym. Opracowania takie, uzyskane według metodologii wykorzystywanej przez inne NMI, ułatwiłyby planowanie bieżące i strategiczne oraz byłyby obiektywnym argumentem w staraniach o adekwatne finansowanie budżetowe.

Kierownictwo NIST, agendy pomocnicze i personel

Na czele NIST stoi dyrektor, obecnie dr Patrick D. Gallagher, wspomagany przez zastępcę oraz dyrektora ds. naukowych (*Chief Scientist*) i dyrektora ds. finansów (*Chief Financial Officer*). Pracę dyrekcji wspiera personel pomocniczy oraz pion administracyjny, którego poszczególne biura zajmują się kadrami, infrastrukturą, bieżącymi sprawami finansowymi, bezpieczeństwem, ochroną zdrowia i ochroną środowiska oraz polityką informacyjną.

Kilka innych aspektów funkcjonowania NIST jest wyodrębnionych ze względu na swą rangę, a właściwe komórki organizacyjne podlegają bezpośrednio dyrekcji. Jest to biuro współpracy zagranicznej oraz współpracy ze środowiskiem akademickim na poziomie instytucjonalnym, biuro współpracy (również komercyjnej) z sektorem publicznym i sektorem prywatnym, biuro legislacyjne współpracujące z Kongresem, biuro spraw obywatelskich, biuro ds. programów badawczych w informatyce oraz biuro koordynatora programu „inteligentnej" sieci energetycznej. Szczególnie ważną rolę odgrywa wspomniane wcześniej Biuro Programowe (*Program Office*), które również podlega bezpośrednio dyrekcji i odpowiada za planowanie strategiczne w skali całej instytucji, ocenę efektywności ekonomicznej programów badawczych, analizę wpływu działalności NIST na całość gospodarki USA, opracowanie strategii finansowej oraz zajmuje się wszelkimi innymi zagadnieniami o charakterze ogólnym.

Najważniejszym czynnikiem powodzenia każdego przedsięwzięcia, a w szczególności badań naukowych, są ludzie. Personel NIST liczy 2900 stałych pracowników oraz 2600 współpracowników i innych użytkowników urządzeń badawczych NIST. Ponadto w terenie pracuje jeszcze 1600 specjalistów, do których zalicza się również współpracowników rekrutujących się z lokalnych uczelni. Personel stały jest uzupełniany przez pracowników na kontraktach czasowych, doktorantów i osoby na stażach podoktorskich. Osoby oddelegowane do NIST przez firmy komercyjne i inne instytucje współpracujące, choć biorą udział w badaniach, to nie mają statusu pracownika NIST.

Miarą jakości kadry naukowej NIST jest to, iż ok. 400 pracowników jest członkami ok. 1000 krajowych i międzynarodowych komitetów naukowych w różnych dziedzinach, zaś w ciągu ostatnich kilkunastu lat trzej pracownicy NIST zdobyli Nagrodę Nobla, a mianowicie John L. Hall (w 2005 r.), Eric A. Cornell (w 2001 r.) i William D. Phillips (w 1997 r.).

Natomiast Główny Urząd Miar liczy łącznie ok. 340 pracowników, z których ok. połowa wykonuje zadania metrologiczne, przede wszystkim wzorcowania. Z ok. 1100 pracowników Okręgów znaczna większość (ok. 870 osób) zajmuje się wzorcowaniami, legalizacją i innymi zadaniami metrologii prawnej.

Laboratoria badawcze

Bazę materialną działalności NIST stanowią dwa kampusy; główny ośrodek położony jest w Gaithersburgu, Maryland, w pobliżu Waszyngtonu, gdzie koncentruje się ok. 80% działalności całej instytucji, zaś pozostała część znajduje się w Boulder, Colorado.

Program naukowy NIST realizują Laboratoria, które są bardzo dużymi jednostkami organizacyjnymi (w naszej nomenklaturze laboratorium oznacza na ogół wąsko wyspecjalizowaną i niedużą komórkę badawczą). Amerykańskie Laboratoria dzielą się na Wydziały (*Divisions*), w których wyodrębnione są Zespoły Badawcze i Grupy Badawcze o dużej autonomii w sprawach programów badawczych, oraz grupy zadaniowe, których skład personalny i czas działania nie jest sformalizowany i zależy od konkretnego projektu.

Przykładem szerokiego zakresu kompetencji i odpowiedzialności laboratoriów NIST jest np. Laboratorium Badawcze Budownictwa i Pożarów (*Building and Fire Research Laboratory*), które składa się z czterech wydziałów zajmujących się (1) badaniem i metrologią materiałów budowlanych i konstrukcyjnych; (2) metrologią środowiska (klimatyzacja, automatyka, energochłonność); (3) zagrożeniem pożarowym w budownictwie; oraz (4) badaniem aspektów ekonomicznych budownictwa, zarówno małej zabudowy, jak i budownictwa wielkoprzemysłowego (np. analizą efektów ekonomicznych wdrażania nowych technologii w budownictwie). Laboratorium jako całość współpracuje z innymi jednostkami organizacyjnymi, np. biorąc w badaniach sposobów zapobiegania zniszczeniom powodowanym przez trzęsienia ziemi. Każde z tych zadań wymaga wszechstron-

nych badań opartych na dokładnych pomiarach wymagających najwyższej klasy wzorców i eksperckiej wiedzy metrologicznej.

Ponieważ postęp technologiczny mierzony jest sukcesem ekonomicznym, w 2001 r. opracowano studium, które wykazało, że zainwestowanie 1 dolara w badania dynamiki rozprzestrzeniania się pożarów w budynkach dało efekt finansowy w wysokości 101 dolarów. Polskiemu czytelnikowi słyszącemu o tak nieprawdopodobnie wielkich korzyściach płynących z tego rodzaju badań należy się wyjaśnienie, że w tamtejszym społeczeństwie panuje głębokie przekonanie, iż „a dollar saved is a dollar earned", tzn. „dolar zaoszczędzony to dolar zarobiony".

Laboratoria NIST koncentrują się na najważniejszych dla gospodarki, najnowocześniejszych oraz perspektywicznych zagadnieniach metrologicznych. Poszczególne wydziały Laboratorium Chemii i Technologii Chemicznej (*Chemical Science and Technology*) zajmują się metrologią w biochemii, mikroanalizie, analityce chemicznej, przemyśle chemicznym oraz metrologią parametrów fizykochemicznych. Laboratorium Elektroniki i Inżynierii Elektrycznej (*Electronics and Electrical Engineering Laboratory*) składa się z wydziałów zajmujących się elektroniką tradycyjną, mikroelektroniką, optoelektroniką, pomiarami pola elektromagnetycznego, wzorcami kwantowymi oraz metrologią na użytek nadzoru prawnego. Metrologia na potrzeby produkcji przemysłowej jest przedmiotem badań w Laboratorium Inżynierii Produkcji (*Manufacturing Engineering Laboratory*), a poszczególne wydziały zajmują się mechaniką precyzyjną, technologią produkcji, metrologią na liniach produkcyjnych, zintegrowanymi systemami produkcji i tzw. systemami inteligentnymi. Metrologią w tradycyjnych sektorach inżynierii materiałowej, takich jak metalurgia, ceramika, polimery i wytrzymałość materiałów, zajmuje się Laboratorium Nauki o Materiałach i Inżynierii Materiałowej (*Materials Science and Engineering Laboratory*), które dysponuje również ośrodkiem badań teoretycznych i numerycznych. W ostatnich latach bardzo aktualne stało się zagadnienie metrologii w skali nano, wymagające wzorców i pomiarów właściwości obiektów o rozmiarach rzędu 10^{-9} m. Nad rozwiązaniem tej kwestii, która najprawdopodobniej zadecyduje o przyszłości elektroniki, pracuje Centrum Nauki i Technologii Obiektów w Skali Nano (*Center for Nanoscale Science and Technology*), które nie jest podzielone na wydziały, ponieważ jest to korzystniejsze z punktu widzenia kompleksowego potraktowania tego problemu; innymi słowy, w pragmatycznym podejściu do zarządzania wielką organizacją, struktura jest dopasowywana do aktualnych potrzeb, a nie odwrotnie. Rangę informatyki w metrologii odzwierciedla odrębne Laboratorium Technologii Informacyjnych (*Information Technology Laboratory*), którego poszczególne wydziały pracują nad oprogramowaniem i systemami informatycznymi, bezpieczeństwem systemów, sieciami informatycznymi, kontrolą dostępu do baz danych oraz zastosowaniami matematyki i statystyki. Jednym z najważniejszych jest Laboratorium Fizyki (*Physics Labo-*

ratory), którego sześć wydziałów zajmuje się optyką, fizyką elektronową, pomiarem czasu i częstotliwości, fizyką atomową, promieniowaniem jonizującym i wybranymi dziedzinami fizyki kwantowej, a ponadto oddzielna jednostka jest odpowiedzialna za komercyjne wykorzystanie pozyskiwanych danych naukowych, materiałowych i technologicznych.

W GUM jest 5 zakładów metrologicznych wyspecjalizowanych w (1) metrologii długości i kąta oraz w pomiarach przemysłowych; (2) optyce, akustyce i promieniowaniu jonizującym; (3) metrologii masy, siły i przepływów; (4) metrologii czasu, wielkości elektrycznych i magnetycznych; oraz (5) elektrochemii, metrologii gazów, temperatury, wilgotności i innych parametrów fizykochemicznych. Obsada kadrowa tych zakładów (ok. 150 osób) jest redukowana.

Inne duże jednostki organizacyjne NIST

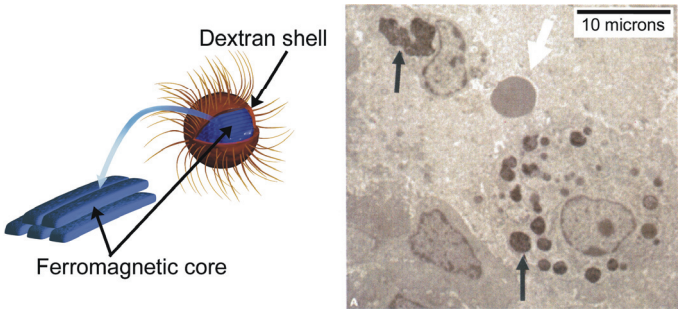
NIST, podobnie jak i inne NMI, wykonuje na zasadach komercyjnych wzorcowania i usługi pomiarowe na najwyższym poziomie metrologicznym, służy ekspercką radą firmom zewnętrznym (krajowym i zagranicznym) oraz jednostkom administracyjnym na szczeblu federalnym, stanowym i lokalnym. Za prowadzenie tej działalności, wymianę informacji i nawiązywanie współpracy komercyjnej z innymi podmiotami naukowo-badawczymi, gospodarczymi i administracyjnymi odpowiada odrębna jednostka organizacyjna, Usługi Technologiczne (*Technology Services*).

Centrum Badań Neutronowych NIST (*NIST Center for Neutron Research*, NCNR) służy całemu środowisku naukowemu, a prace tam wykonywane mają duże znaczenie praktyczne w bardzo zróżnicowanych dziedzinach, np. w badaniach materiałowych, analityce chemicznej, medycynie (ryc. 2), ochronie przed promieniowaniem oraz w przemyśle energetycznym. Dyrektorem NCNR w latach 2004-2009 był dr P. Gallagher (48 lat), obecny dyrektor NIST.

W latach 2000-2004 zbudowano od podstaw Laboratorium Pomiarów Zaawansowanych Technologicznie NIST (*NIST Advanced Measurement Laboratory*). Na powierzchni 50 tys. m^2 znajduje się 338 jednostek laboratoryjnych izolowanych od drgań mechanicznych i zakłóceń elektromagnetycznych, o kontrolowanej temperaturze i wilgotności. W 12 laboratoriach temperatura utrzymywana jest z dokładnością do 0,01 K, a w części zajmującej się wytwarzaniem nanostruktur system filtrów oczyszcza powietrze w cyklu 300 razy na godzinę. Inwestycja ta powstała z myślą o interdyscyplinarnych badaniach podstawowych oraz budowie wzorców i pomiarach w skali atomowej, stanowiąc integralną część infrastruktury metrologicznej przygotowywanej dla nowych sektorów przemysłu wysokich technologii.

Również przed kilku laty oddano do użytku Laboratorium Zaawansowanych Nauk Chemicznych (*Advanced Chemical Sciences Laboratory*), zajmujące się głównie pomia-

rami w dziedzinie medycyny, biologii, farmacji, analityką chemiczną mikrośladów oraz analizą złożonych substancji naturalnych i przetworzonych (w tym żywności).



Ryc. 2. Centrum Badań Neutronowych NIST prowadzi m.in. badania medyczne. Nanocząstki ferromagnetyczne pokryte węglowodanami (schemat z lewej) gromadzą się wokół aktywnych komórek rakowych (zdjęcie z prawej) i są przez nie wchłaniane; nonocząstki widać jako ciemniejsze obiekty wskazane czarnymi strzałkami. Zastosowanie zmiennego pola magnetycznego indukuje ciepło w nanocząstkach, niszcząc wybiórczo komórki rakowe na drodze termicznej. Procedura ta nie wpływa na zdrową czerwoną krwinkę (ciemny obiekt wskazany białą strzałką), ponieważ nie jest ona tak żarłoczna jak komórki rakowe. *Credit: NIST*

Na ponad 18 tys. m^2 powierzchni znajdują się 162 jednostki laboratoryjne, 1000 tzw. pomieszczeń wysokiej czystości, o ściśle kontrolowanej temperaturze i wilgotności, izolowanych od drgań i innych czynników zewnętrznych, a także zabezpieczonych przed przenoszeniem zanieczyszczeń zewnętrznych i wewnątrzlaboratoryjnych. Koszt budowy tego laboratorium wyniósł 75 mln dol. czyli ok. 4 tys. dol. za 1 m^2 lub ok. 12 tys. zł za 1 m^2, co jest porównywalne z ceną 1 m^2 zwykłej powierzchni mieszkalnej w Warszawie lub Krakowie. Jak to jest możliwe? W taki sam sposób, w jaki budowa naszych ścieżek rowerowych, zwanych potocznie autostradami, kosztuje co najmniej o połowę drożej niż budowa amerykańskich autostrad; ale za to nasze „autostrady" są dopieszczane remontami, natomiast tamtejszych autostrad nikt nie remontuje przez dziesięciolecia. Ten stan rzeczy jest w pełni zgodny ze zdrowym rozsądkiem, ponieważ po naszych drogach jeżdżą samochody dwa razy cenniejsze od amerykańskich limuzyn, napędzane paliwem ponad 3-krotnie droższym niż w USA. Czytelnik nie powinien się oburzać, ale wyciągnąć optymistyczny wniosek, że polscy obywatele są bardzo zamożni, hojni i dbają o interesy budżetu oraz swych rodzimych i zagranicznych dobrodziei, którzy w swoim czasie zgodzili się łaskawie zaopiekować naszym nic niewartym wspólnym majątkiem, a również obecnie nie stronią od kontynuowania tak owocnego partnerstwa publiczno-prywatnego.

Stała współpraca instytucjonalna NIST

Na Stany Zjednoczone zwykliśmy patrzeć jako na siedzibę koncernów o zasięgu światowym. Jednak ponad połowę produktu krajowego USA wypracowuje ok. 350 tys.

średnich i małych przedsiębiorstw (*Small and Medium Enterprises*, SME), które stanowią prawie 99% wszystkich przedsiębiorstw produkcyjnych w USA. Małe i średnie przedsiębiorstwa są również najważniejszym czynnikiem utrzymującym stabilność poziomu zatrudnienia, ponieważ pracuje w nich 11 mln ludzi, czyli 2/3 wszystkich pracowników sektora produkcyjnego, a zwolnienia grupowe nie są w tym sektorze tak istotne jak w przypadku wielkich koncernów, gdy zamknięcie jednego zakładu powoduje klęskę bezrobocia w całym regionie.

Zarówno rząd federalny, jak i rządy stanowe doceniają rolę SME w gospodarce i wspomagają rozwój tego sektora. Współpraca NIST z agendami rządowymi szczebla stanowego i lokalnego została sformalizowana w postaci NIST Hollings Manufacturing Extension Partnership, którego zadaniem jest doradztwo techniczne, analiza systemów produkcyjnych, szkolenia pracowników, komputeryzacja procesów produkcyjnych i podejmowanie wszelkich innych działań mogących zwiększyć wydajność, podwyższyć jakość, obniżyć koszty oraz powiększyć sprzedaż i zyski SME. Niewielkie przedsiębiorstwa zwykle nie dysponują gronem ekspertów oraz własnymi laboratoriami badawczymi na światowym poziomie (ze względu na związane z tym koszty) i nie byłyby w stanie samodzielnie podołać globalnej konkurencji; zaangażowanie potencjału naukowego, badawczego i eksperckiego, jakim dysponuje NIST, ma kluczowe znaczenie dla konkurencyjności SME na rynku wewnętrznym i zagranicznym. Program ten jest finansowany mniej więcej w równych częściach (po 1/3) przez budżet federalny, środki stanowe i wpływy od klientów. Miarą sukcesu NIST Hollings Manufacturing Extension Partnership jest to, że w ciągu 22 lat program ten rozprzestrzenił się na wszystkie 50 stanów, gdzie wykonywane są usługi dla setek tysięcy klientów, a studium wykonane w 2005 r. szacuje, iż efekty finansowe tylko w 2004 r. przekroczyły 6 mld dol.

Warto na tym przykładzie zwrócić uwagę na trzy charakterystyczne cechy wspomagania gospodarki w systemie wolnorynkowym: (1) wybiórczość programu skierowana na pomoc silnym, tzn. tym, którzy dążą do rozwoju i postępu technologicznego; (2) obciążenie finansowe – i związane z tym ryzyko – jest rozkładane na kilka podmiotów; oraz (3) potencjalny beneficjent musi sam poważnie zaangażować się finansowo. Wzorów amerykańskich nie można jednak transplantować bezpośrednio na nasz grunt, ponieważ społeczeństwo polskie ma inne tradycje, polska gospodarka ma inną skalę i charakter, a poza tym nie jest wolnorynkowa, ponieważ paru pociągnięciami w postaci ustaw, zarządzeń administracyjnych, ulg podatkowych dla wchodzących na nasz rynek firm zagranicznych, wysokością ceł, akcyzą, koncesjami, sterowaną regulacją kursu walutowego i wielu innymi narzędziami prawno-finansowymi można istotnie zmienić rachunek ekonomiczny przedsiębiorstw i całych sektorów naszej gospodarki.

Lokalizacja głównego kampusu NIST w stanie Maryland zaowocowała bliską współpracą z University of Maryland. NIST, Wydział Fizyki University of Maryland oraz Labo-

ratory of Physical Sciences utworzyły odrębną strukturę pod nazwą Joint Quantum Institute (JQI), w ramach której naukowcy z wymienionych jednostek badawczych, a także personel z innych wydziałów University of Maryland prowadzi badania doświadczalne i teoretyczne w dziedzinie wszelkiego rodzaju zjawisk kwantowych, poczynając od optyki kwantowej, przez mikroelektronikę, układy magnetyczne (spinowe), nanotechnologię, komputery kwantowe i łączność bezprzewodową, aż do badań materiałowych, fizyki polimerów i identyfikacji biometrycznej.

Drugi ośrodek badawczy NIST, zlokalizowany w Boulder, utworzył wraz z University of Colorado, prestiżowy instytut badawczy JILA (uprzednio znany pod nazwą *Joint Institute for Laboratory Astrophysics*), w którym obecnie pracuje trzech noblistów (E. Cornell, C. Wieman i J.L. Hall). Instytut ten zajmuje się fizyką kwantową, fizyką atomową i molekularną, optyką, fizyką laserów, nanostrukturami i badaniami materiałowymi; wszystkie te dziedziny są przedmiotem badań podstawowych na poziomie kwantowym.

Mimo iż badania w JQI i JILA mają charakter nauki czystej, to jednak leżą w sferze zainteresowań NIST, ponieważ instytucja ta wykazuje się myśleniem w kategoriach strategicznych. Prowadzenie badań podstawowych jest inwestycją w przyszłość, zaś wykorzystanie komercyjne (również w metrologii) współczesnych odkryć naukowych zadecyduje o powodzeniu najbardziej dochodowych sektorów przemysłu w przyszłości.

Istotną trudnością w rozwoju przemysłu wysokich technologii (*high-tech industry*) jest bariera dzieląca naukę czystą od wdrożeń, problem bardzo dobrze znany również w Polsce. Tworzenie ośrodków naukowych i zespołów badawczych, w których współpracuje kadra uniwersytecka z pracownikami naukowymi NIST, pracownikami firm zewnętrznych oraz doktorantami i studentami, z których wielu trafi wkrótce do przemysłu wysokich technologii, pozwala łatwiej pokonać tę barierę. Żeby jednak analogiczny mechanizm działał w naszym kraju, niezbędne jest istnienie rodzimych przedsiębiorstw z sektora *high-tech*, oferujących miejsca pracy porównywalne pod względem poziomu naukowo-technicznego z instytutami badawczymi.

W dziedzinie biotechnologii NIST współpracuje z University of Maryland Biotechnology Institute (UMBI). Współpraca nawiązana w 1983 r. koncentruje się na badaniach biologii morza, biosystemach oceanicznych i tych aspektach technologii, które mają związek ze środowiskiem wodnym. NIST współpracuje także z Hollings Marine Laboratory w Charleston, South Carolina, również na wybrzeżu atlantyckim, gdzie prowadzi badania środowiska morskiego, rozwija metody analityczne w tej dziedzinie i współpracuje w badaniu zasobów morskich. Na zachodnim wybrzeżu, w La Jolla, budowany jest obecnie nowy ośrodek badań oceanograficznych, którego NIST jest współudziałowcem.

Zakończenie, czyli o skutecznym zmian sposobie

Wydawać się może, że NIST nie jest dla polskiej metrologii wzorem do naśladowania, ponieważ ogrom tej instytucji, skala finansowania, zasoby naukowe, materialne

i ludzkie oraz możliwości i wymagania tamtejszej gospodarki są zupełnie inne niż u nas. Jednak wiele krajów Unii Europejskiej, które również dysponują zasobami wielokrotnie mniejszymi niż USA, posiada NMI na poziomie porównywalnym z NIST, przynajmniej w wybranych dziedzinach. Niemiecki Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) i brytyjski National Physical Laboratory (NPL) są równorzędnymi partnerami NIST, chociaż gospodarki tych krajów są ok. 4 razy mniejsze od gospodarki USA.

Na przykładzie tych dwu europejskich NMI można zobrazować różne strategie przyjmowane przez poszczególne kraje. PTB nie faworyzuje w szczególny sposób jakichś wybranych dziedzin metrologii, tradycyjne sektory metrologii nie tracą na znaczeniu, a przedstawiciele PTB zasiadają we wszystkich Komitetach Doradczych BIPM i Komitetach Technicznych EURAMET-u (europejskiej Regionalnej Organizacji Metrologicznej). Dr Wolfgang Schmid z PTB jest szefem sekretariatu EURAMET-u (z siedzibą w PTB, Niemcy), dr Jörn Stenger jest przewodniczącym komitetu EMRP (z sekretariatem w Londynie), a niedawno inny przedstawiciel PTB, prof. Michael Kühne, objął funkcję dyrektora BIPM (z siedzibą w Paryżu). Niemcy idą ławą, jak w okresie zmierzchu i upadku cesarstwa rzymskiego.

Natomiast strategia brytyjska wyraźnie faworyzuje wybrane, najnowocześniejsze gałęzie metrologii, a w szczególności budowę wzorców i opracowanie metod pomiarowych na potrzeby technologii kwantowych, technologii nanostruktur, analityki medycznej, biotechnologii, ochrony środowiska oraz tych działów przemysłu tradycyjnego, które wyróżniają się najwyższym stosunkiem zysku do nakładu (np. telekomunikacja, badania materiałowe na potrzeby mody). Widać też, że Brytyjczycy, których współpraca z Amerykanami jest powszechnie znana, idą w ich ślady; np. w odpowiedzi na powstanie wspomnianego wyżej Advanced Measurement Laboratory występują do budżetu o sfinansowanie analogicznego Advanced Metrology Laboratory [6]. To jednak nie jest nieprzemyślane naśladownictwo, ale praktyczny wniosek z uświadomienia sobie, że kompatybilność struktur ułatwia prowadzenie korzystnej współpracy.

Aby polska metrologia zajęła należne jej miejsce wśród krajów europejskich, musi również posiadać prężny pion badawczy i upodobnić się strukturalnie do swych bratnich organizacji. Posiadanie osobowości prawnej przez polskie NMI (obecnie jest to Główny Urząd Miar) jest warunkiem wstępnym (tj. koniecznym, choć niewystarczającym) zbudowania takiej struktury i jej sprawnego funkcjonowania.

Strategia niemiecka, polegająca na obstawianiu wszystkich pól szachownicy, jest poza naszym zasięgiem; w przewidywalnym czasie nie będziemy w stanie sprostać takiemu wyzwaniu kadrowo i finansowo. Ponieważ nasz rodzimy przemysł wysokich technologii jest na razie dość skromny, a filie koncernów zagranicznych i tak mają własne laboratoria lub uzyskują spójność pomiarową w krajach macierzystych, gdzie zlokalizowane są ich biura projektowe i konstrukcyjne, to utrzymywanie wystarczającego

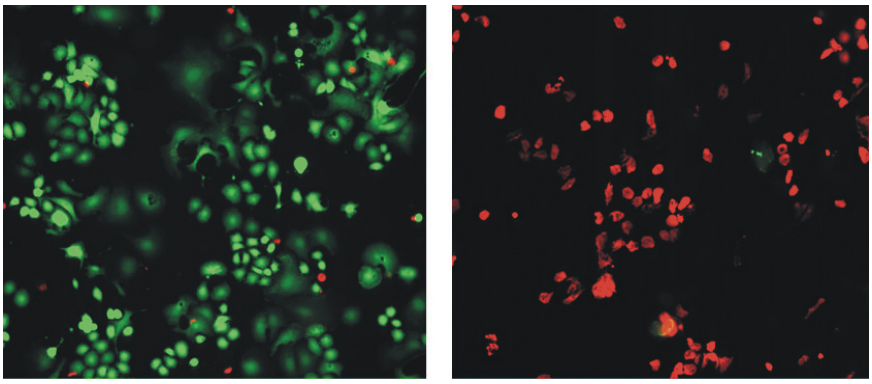
poziomu usług w tradycyjnych dziedzinach metrologii może odbywać się tak jak dotychczas, tzn. w oparciu o zakupy wyposażenia stanowisk pomiarowych za granicą. Natomiast badania naukowe należałoby skoncentrować na wybranych, pionierskich działach metrologii, ponieważ w tych sektorach (1) dystans do światowych potęg technologicznych jest mniejszy niż w dziedzinach, w których rynek jest już podzielony; (2) własną inwencją można skompensować dysponowanie skromniejszymi środkami materialnymi; a przede wszystkim, dlatego że (3) badania takie są podstawą przemysłu *high-tech* w przyszłości i dają najwyższą rentę finansową w dalszej perspektywie.

Infrastruktura i aparatura konieczna do prowadzenia metrologicznych badań doświadczalnych na poziomie światowym jest niezwykle kosztowna. W sytuacji ograniczeń budżetowych należy zatem (1) dokonać wyboru dziedzin badawczych o znaczeniu strategicznym i tam skoncentrować posiadane środki finansowe; oraz (2) zastosować taktykę inwestowania w pierwszej kolejności w ludzi będących w stanie nawiązać współpracę i wykorzystywać infrastrukturę i aparaturę dostępną za granicą, by w ten sposób stworzyć kadry na przyszłość; (3) utrzymać poziom finansowania tradycyjnych gałęzi metrologii tak, by nie utracić zasobów, którymi obecnie dysponujemy.

Wybór priorytetowych kierunków metrologii naukowej w Polsce powinien wynikać z analizy trendów światowych i musi być niezależny od osobistych preferencji i specjalizacji decydentów. Bez względu na to, jaką formę organizacyjną przyjmie metrologia naukowa na szczeblu krajowym, w pierwszej kolejności należy rozwijać metrologię chemiczną na potrzeby medycyny, farmacji i analityki chemicznej, a także metrologię nanostruktur – pod warunkiem że równocześnie zostanie podjęta decyzja rozwijania krajowej elektroniki i optoelektroniki opartej na nanostrukturach.

Ta ostatnia dyscyplina jest jeszcze w początkowej fazie szybkiego rozwoju i przy odpowiednim finansowaniu metrologii nanostruktur oraz równoległych badań podstawowych na uczelniach i w instytutach PAN istnieje realna szansa na dogonienie światowej czołówki. Nanotechnologia wywodzi się z prac nad cienkimi warstwami, ale dopiero odkrycie fullerenów w roku 1985 zapoczątkowało badania struktur, których wszystkie trzy wymiary wyrażają się w nanometrach. Nanostruktury doskonale wpisały się w strategię rozwoju przemysłu elektronicznego, polegającą na (1) dążeniu do miniaturyzacji elementów elektronicznych; (2) zwiększeniu szybkości ich działania; oraz (3) minimalizacji kosztów produkcji. Przemysł elektroniczny przeszedł w krótkim czasie od częstotliwości radiowych (zakres MHz) w latach 80. XX w. do częstotliwości mikrofalowych (zakres GHz) w latach 90. Pozorne spowolnienie postępu w ostatnim dziesięcioleciu związane jest z koniecznością dokonania jakościowych zmian technologicznych przy przejściu do częstotliwości podczerwonych (zakres THz) i zakresu widzialnego. Takie radykalne zmiany zawsze dają szansę nowym graczom na rynku nauki i technologii. Przykładem ogromnego potencjału metrologicznego, jaki tkwi w nanostrukturach, jest

grafen (odkryty w 2004 r.), który wykazuje anomalny efekt Halla w temperaturze pokojowej, podczas gdy arsenek galu (GaAs) w powszechnie dziś używanym kwantowym wzorcu rezystancji wymaga zastosowania skomplikowanej i kosztownej technologii kriogenicznej (ciekły hel). Nanostruktury mają również rozliczne, bardzo obiecujące zastosowania medyczne (ryc. 2 i 3).



Ryc. 3. Przykład medycznego zastosowania nanostruktur. Dwa wycinki tej samej tkanki nowotworowej po napromieniowaniu i uwidocznieniu metodą fluorescencyjną żywych komórek rakowych (zielone) i martwych (czerwone). Z lewej: tkanka napromieniowana bez uprzedniego przygotowania; z prawej: po uprzednim potraktowaniu antyciałami oraz nanorurkami, które ułatwiają niszczenie komórek rakowych. *Credit: NIST*

Metrologia medyczna i analityka medyczna należą do dziedzin nie tylko najważniejszych społecznie, ale także najbardziej intratnych [7]. Rynek w tej dziedzinie jest praktycznie nieograniczony, ponieważ okres wymiany sprzętu medycznego wynosi zwykle kilka lat, ale jest też niezwykle konkurencyjny. Analityka i wytwarzanie sprzętu medycznego wymaga metrologii na najwyższym światowym poziomie. Analityka i metrologia medyczna wymaga nowatorskich rozwiązań, ponieważ przedmiotem badań jest organizm człowieka, co ogranicza możliwość pełnej kontroli warunków środowiskowych. Tu jest miejsce na inwencję i szansa dla nowych firm.

Najskuteczniejszą taktyką wchodzenia na rynek w przypadku małych firm (*start-up companies*) jest skoncentrowanie się na materiałach eksploatacyjnych, ponieważ ich ceny są zwykle wyśrubowane, a wówczas można konkurować ceną (wielkie firmy często sprzedają aparaturę po promocyjnych cenach, odbijając to sobie z nawiązką właśnie na materiałach eksploatacyjnych) z opcją wchodzenia w kooperację z producentami aparatury. Natomiast w dalszej perspektywie najkorzystniejszy może być zakup niedużej firmy znanej na rynkach zachodnich, działającej w pokrewnej branży, ponieważ wypromowanie własnej marki na tych rynkach jest zwykle trudniejsze, bardziej czasochłonne i kapitałochłonne; lokalne rynki zachodnie mają większe zaufanie do firm „swoich" chociażby z nazwy. Takiemu przedsięwzięciu musi patronować państwo, tak przynaj-

mniej dzieje się w jaskini wolnego rynku, w USA. Ale czasu nie ma wiele: światowe rynki zbytu aparatury terapeutycznej, analitycznej oraz materiałów eksploatacyjnych są łakomym kąskiem, którego Chiny nie przeoczą, a wtedy nie uda się konkurować ceną.

Nasze firmy wytwarzające sprzęt medyczny i analityczny oraz materiały eksploatacyjne i materiały odniesienia muszą być nastawione na rynek europejski i globalny, ponieważ nasz rodzimy rynek usług zdrowotnych jest na razie zbyt ubogi i płytki. Sprostanie konkurencji międzynarodowej wymaga pomocy państwa w postaci rozwijania badań metrologicznych na najwyższym światowym poziomie, ponieważ w dziedzinie ochrony zdrowia trzeba oferować wysoką jakość – i tu właśnie metrologia odgrywa decydującą rolę.

Nie można także pomijać ważnego aspektu handlowego, jakim jest marka *kraju* w danej dziedzinie. Naszą silną marką w dziedzinie ochrony zdrowia, którą ośrodki konkurencyjne usiłują za wszelką cenę ośmieszyć jako przejaw zacofania i zniszczyć, jest powszechnie znany na świecie nasz szacunek dla życia, wyrażający się sprzeciwem wobec aborcji i eutanazji, mający oparcie w światopoglądzie większości społeczeństwa i w obowiązującym prawie. Nie sposób nie wspomnieć, że taki sam mechanizm o podłożu ekonomicznym wywołuje gwałtowne ataki na markę Polski jako kraju o ekologicznym rolnictwie – i próby jej zniszczenia przez wymuszone wprowadzenie GMO.

Osoba patrząca *wycinkowo* na metrologię może być pod silnym wrażeniem finansowania NIST w kwocie rzędu 1 mld dol. rocznie. NIST i metrologię „inżynierską" we właściwych proporcjach zobaczymy wówczas, gdy porównamy budżet NIST z finansowaniem NIH* z budżetu federalnego, które wynosiło 31 mld dol. w roku 2010 (nie uwzględniając innych przychodów). Pakiet antykryzysowy (przewidujący dla NIST dodatkowo 0,6 mld dol.) przeznaczył dla NIH 10,4 mld dol. Budżet NIST stanowi zatem ok. 3% budżetu NIH. Czy potrzeba więcej dowodów na obecne preferencje społeczne, którym demokratyczne rządy muszą się podporządkować? Szeroko rozumiany sektor ochrony zdrowia jest potencjalnie najpoważniejszym źródłem dochodów w skali światowej i powinno to znaleźć odzwierciedlenie w wyborze priorytetów rozwoju metrologii w Polsce.

Nasze rodzime firmy potrzebują solidnego wsparcia instytucjonalnego za granicą, co powinno być podstawowym i wymiernym zadaniem dla naszych służb dyplomatycznych. Kluczowe znaczenie dla rozwoju kraju ma także Polonia. Osoby, które zdecydowały się na stałe opuścić kraj, nie mogą być traktowane jako strata dla Ojczyzny, ponieważ stanowią jej niezwykle cenne aktywa. W latach 80. na studiach doktoranckich w dziedzinie fizyki w USA Chińczycy stanowili co najmniej 20-30% studentów; podobnie było (i jest nadal) na innych wydziałach nauk ścisłych na uniwersytetach amerykańskich. Czy trzeba komuś tłumaczyć, dlaczego Chiny wysyłały i nadal wysyłają do USA miliony

* National Institute of Health (Narodowy Instytut Zdrowia) jest to finansowany budżetowo autonomiczny instytut badawczy. To nie jest ani placówka ochrony zdrowia, ani odpowiednik naszego NFZ.

studentów, z których większość zostaje tam na stałe, i jaki jest związek tego faktu z eksplozją chińskiej wytwórczości, która już sięgnęła po dziedziny zarezerwowane niegdyś dla najwyżej zaawansowanych technologicznie potęg światowych? Ten mechanizm nie zależy od wielkości i liczebności kraju: zamiast Chin można równie dobrze powołać się na przykład Izraela. Polonia jest również rozsiana po całym świecie, reprezentuje wysoki potencjał naukowy, dysponuje doświadczeniem w gospodarce wolnorynkowej i znajomością lokalnych rynków; tego atutu nie wolno zlekceważyć. Jeżeli czytelnik ma wrażenie, że w tym punkcie odeszliśmy nieco od naszego zasadniczego tematu, to przypomnijmy, że działalność NIST jest podporządkowana strategicznym celom ekonomicznym państwa i nie przez przypadek NIST jest ulokowany w pionie Ministerstwa Gospodarki USA.

Inwestowanie w naukę to przede wszystkim inwestowanie w kadry, a szczególnie w młodych ludzi (np. finansowanie stypendiów, staży, udziału w konferencjach krajowych i zagranicznych, posiedzeniach komitetów technicznych), nie oczekując od nich natychmiastowych spektakularnych efektów. Takie podejście sprawdza się zwłaszcza w sytuacji niedoborów inwestycyjnych, ponieważ młodzi naukowcy mogą wówczas korzystać z wyposażenia prestiżowych ośrodków badawczych w Europie i USA, które nie cierpią na braki sprzętowe, a uzyskane w ten sposób doświadczenie i kontakty osobiste są nie do przecenienia. Inwestowanie w duże grupy młodych ludzi jest konieczne, by przekroczyć masę krytyczną w sensie liczebności i jakości kadry; ilość niekoniecznie przechodzi w jakość, ale daje niewątpliwie większą szansę na sukces oraz możliwość pokoleniowej kontynuacji.

W drugiej kolejności należy inwestować w sprzęt badawczy na przyzwoitym poziomie światowym, a na końcu – w mury. Natomiast w Polsce, z powodu skromnych warunków lokalowych i sprzętowych instytucji badawczych, te proporcje są z konieczności odwrócone i nawet gdy miejscowo skapną jakieś większe środki, to największymi ich beneficjentami są firmy budowlane. Żeby polska metrologia osiągnęła warunki pracy porównywalne z wiodącymi NMI, to niezbędna byłaby budowa nowego ośrodka badawczego, z dala od centrum wielkiego miasta, które jest źródłem nieuniknionych zakłóceń środowiskowych (czyli nie na Łuku Siekierkowskim, ale poza Warszawą). To byłaby inwestycja znacznie przekraczająca 200 mln zł (z wyposażeniem) i przy najpomyślniejszym scenariuszu musiałaby trwać kilka lat; w przewidywalnym czasie jesteśmy zatem skazani na modernizację tego, czym już dysponujemy.

Nauka, w tym metrologia, ma charakter międzynarodowy. Jeżeli zasób światowej wiedzy porównać do zupy w wielkim globalnym kotle, to szybciej i pewniej dopcha się do niego liczny, współpracujący ze sobą i kompetentny zespół młodych ludzi niż zasłużony członek korporacji naukowej. Zerknijmy jeszcze do stołówki, gdzie we wspólnym kotle warzy się międzynarodowa nauka, czyli podstawa sukcesu ekonomicznego w przyszłości. Cóż to takiego błyszczy w ręce naszego schowanego w kącie samotnego reprezen-

tanta? Aha, to łyżeczka od herbaty, w którą wyposażyli go architekci polskiego budżetu: jakże roztropnie, oszczędnie i gospodarnie. Przecież zainwestowanie w wielkie chochle, w które uzbrojeni są nasi konkurenci, jest „dla nas zbyt kosztowne". Słusznie. Budżet państwa i tak ledwo zipie, a skoro nasi obecni luminarze twierdzą, że „nasz pilot potrafi polecieć nawet na drzwiach od stodoły", to fundowanie polskim naukowcom protez w postaci nowoczesnych urządzeń badawczych mogłoby urazić ich honor zawodowy, bowiem wiedza ludowa głosi, że „jak prosiak jest dobry, to i na wodzie się utuczy".

Stan nauki, gospodarki, sprawność administracji i jakość życia obywateli są ze sobą ściśle związane. Trudno więc żądać, by nauka w Polsce, a w szczególności metrologia, wyróżniała się na tle innych aspektów będących miarą sprawności działania państwa.

Metrologia nie jest nauką efektowną; wymaga żmudnych, niezwykle dokładnych i długotrwałych badań. Zatem docenić metrologię jako naukę oraz ważny element rozwoju gospodarczego kraju mogą jedynie ci, którzy rozumieją, iż postęp dokonuje się małymi kroczkami, ale prowadzącymi do zasadniczych przełomów. Każdy medal ma jednak dwie strony: do wielkich klęsk, takich jak krach sektora bankowego, kryzys finansów publicznych, załamanie gospodarki,zamieszki wewnętrzne lub konflikt zbrojny – również dochodzi się wieloma małymi kroczkami.

Metrologia jest nauką ściśle związaną z gospodarką, więc korzyści z rozwoju metrologii naukowej będziemy czerpać w pełni jedynie wówczas, gdy przemysł i handel będzie w rękach ludzi utożsamiających się z krajem, w którym prowadzą interesy, którzy płacą w nim podatki i tu mają swój zarząd, biura projektowe oraz centrum finansowe. Bez rodzimych firm produkcyjnych, handlowych i finansowych, nawet autorzy dużych osiągnięć naukowych, o ogromnym potencjale gospodarczym, ustawieni są w roli petenta u konkurentów zagranicznych. Dobrym przykładem tego stanu rzeczy jest polska technologia niebieskiego lasera, która w latach 90. XX w. znacznie wyprzedzała technologie zachodnie, ale nie miał kto jej wdrożyć i po kilkunastu latach starań to niewątpliwie duże osiągnięcie naukowe i technologiczne utraciło swój potencjał ekonomiczny. Przy okazji wspomnę tylko, że handel patentami, licencjami czy technologiami staje się powoli zeszłowiecznym przeżytkiem: o wiele efektywniejszy jest zakup zasobu wiedzy i umiejętności w postaci kompetentnego człowieka.

Wszystkich reform w państwie nie można przeprowadzić jednocześnie, musi być zatem logiczny plan generalny, swoista „mapa drogowa" modernizacji kraju. Przyznając, że w pierwszej kolejności konieczne są zmiany prawne, polegające na zasadniczym uproszczeniu prawodawstwa regulującego gospodarkę (a można je przeprowadzić najszybciej i niewielkim nakładem inwestycyjnym) oraz budowa infrastruktury komunikacyjnej, telekomunikacyjnej i energetycznej, to z długofalowego punktu widzenia decydującym czynnikiem rozwoju gospodarczego kraju jest rozwój nauki i technologii. Ponieważ metrologia jest jednym z najważniejszych ogniw wiążących współczesną naukę

z gospodarką, to adekwatne finansowanie tej dziedziny wiedzy należy traktować jako inwestycję w rozwój najbardziej dochodowych, najnowocześniejszych gałęzi przemysłu, które zadecydują o pomyślności ekonomicznej Polski w przyszłości.

W innych państwach – nie tylko w USA, ale również w krajach unijnych – politycy mówią otwartym tekstem, że walczą o własne narodowe interesy, ponieważ w przeciwnym przypadku straciliby poparcie w społeczeństwie, swą bazę polityczną, a w konsekwencji przegraliby wybory. Dla korzyści gospodarczych inne państwa nie cofają się nawet przed użyciem przemocy, usprawiedliwianej deklaracjami o misji szerzenia pokoju, sprawiedliwości i wolności na świecie. Natomiast nam polskojęzyczne media kontrolowane przez kapitał zagraniczny od dawna wmawiają, że dbanie o interes własnego kraju jest przejawem zacofania, nacjonalizmu i ksenofobii, że trzeba podporządkować się woli większych, mądrzejszych i bogatszych przyjaciół, bo oni lepiej zadbają o nasze interesy niż my sami, a w przypadku naszego oporu zostaniemy ukarani izolacją i złamani. Jako naród i państwo przećwiczyliśmy scenariusz ograniczonej suwerenności już wielokrotnie. Wystarczy. Najwyższy czas wziąć swoje sprawy w swe własne, uczciwe i kompetentne ręce, bo w Polsce ich nie brakuje.

Opinie przedstawione w tym artykule wyrażają poglądy autora, zaś ich zbieżność lub sprzeczność z przekonaniami innych osób lub instytucji jest przypadkowa.

Literatura

[1] *EURAMET and operation of the NMIs*. EURAMET Guide no. 10, 2008.
[2] Quinn T.J., *A note on the role and operation of a national metrology institute, April 2007* (revised May 2009), Raport dla Ministerstwa Gospodarki.
[3] Quinn T.J., *Report and recommendations on the institutional aspects of the development of metrology in Poland*, 25 May 2009, Raport dla Ministerstwa Gospodarki.
[4] Grabski M.W., *Nauka zaściankowa*. Nauka 2010, nr 3, str. 89-91.
[5] Brandt A.M., *Jeszcze o „nauce zaściankowej"*. Nauka 2011, nr 2, str. 125-130.
[6] *A strategy for the national measurement system 2010 -2014. Investing for impact*, National Measurement Office, UK Department for Business, Innovation and Skills, 2009.
[7] Howarth P., Redgrave F., *Metrology – in short*, EURAMET e. V., wyd. 3, 2008 r., rozdz. 4.

The origins and the present of the NIST with references to the situation of metrology in Poland

The paper presents the National Metrology Institute of the United States, the NIST, with references to the present situation in scientific metrology in Poland and prospective developments in this area.

Key words: NIST, GUM, NMI, National Metrology Institute, scientific metrology