

RAPORT

Stan metrologii w Polsce



Lublin 2023

Stan metrologii w Polsce

*Finansowane ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki
w ramach dotacji celowej na realizację Zadania zleconego
przez Ministra Edukacji i Nauki
pn. „Utworzenie i koordynowanie działalności
Polskiej Unii Metrologicznej – PUM”
na podstawie umowy nr MEiN/2021/DPI/179*

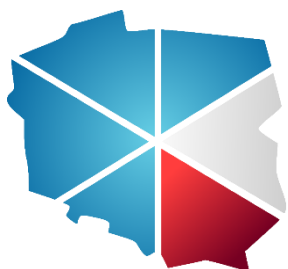


Ministerstwo
Edukacji i Nauki



POLITECHNIKA
LUBELSKA

Polska Unia Metrologiczna



POLSKA UNIA[®]
METROLOGICZNA

Redakcja opracowania

Dr hab. inż. Jerzy Józwik, prof. uczelni

Opracowanie raportu

Zespół Polskiej Unii Metrologicznej

Monika Choroś

Katarzyna Zawada

Jerzy Józwik

Skład i łamanie tekstu

Marcin Barszcz

Spis treści

1. Wprowadzenie	5
2. Sytuacja metrologii w Polsce w ostatnich latach	7
3. Problemy polskiej metrologii i sposoby przeciwdziałania.....	15
4. Metrologia chemiczna.....	28
5. Metrologia energetyczna.....	29
6. Metrologia fizyczna	31
7. Metrologia optyczna	33
8. Metrologia prawna.....	34
9. Metrologia przemysłowa	35
10. Metrologia wielkości geometrycznych	36
11. Metrologia współrzędnościowa	38
12. Podsumowanie	39
13. Bibliografia	41

1. Wprowadzenie

Metrologia, jako nauka zajmująca się precyzyjnymi pomiarami, odgrywa niezwykle istotną rolę we współczesnym społeczeństwie¹. Jej znaczenie jest niepodważalne, gdyż to właśnie dzięki metrologii osiągamy pewność i rzetelność wyników pomiarów, które stanowią fundament wielu dziedzin życia. Niezależnie od kraju, w Polsce metrologia stanowi integralną część systemu nauki, przemysłu i handlu, pełniąc kluczową rolę w zapewnieniu jakości produktów, usług oraz bezpieczeństwa publicznego.

Niniejszy raport ma na celu przedstawienie aktualnej sytuacji metrologii w Polsce, uwzględniając zarówno problemy polskiej metrologii i sposoby przeciwdziałania, jak i napotykanne wyzwania. Analiza kluczowych aspektów metrologii pozwoli zidentyfikować obszary, w których możliwe są dalsze usprawnienia i innowacje. Istotnym elementem raportu będzie także skupienie się na potencjalnych obszarach rozwoju metrologii, które mogą wpłynąć pozytywnie na rozwój społeczeństwa, nauki i gospodarki.

W kontekście globalnych zmian technologicznych oraz rosnących wymagań rynku, rozwój metrologii staje się kluczowy dla utrzymania konkurencyjności. Współpraca międzynarodowa w dziedzinie metrologii jest niezbędna, aby Polska mogła skorzystać z najnowszych osiągnięć i standardów. Podkreślenie znaczenia metrologii w raporcie ma na celu podniesienie świadomości społeczeństwa oraz decydentów na temat roli, jaką odgrywa w codziennym funkcjonowaniu oraz w długofalowym rozwoju kraju.

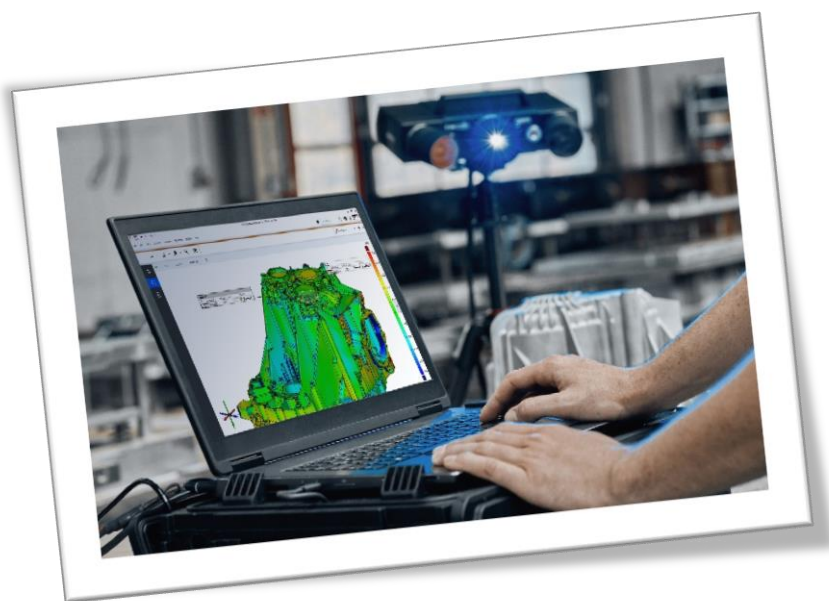
W Polsce metrologia jest zarządzana przez Główny Urząd Miar (GUM)². GUM, będący organem administracji rządowej, pełni kluczową rolę w kierowaniu kwestiami związanymi z miarami i probiernictwem na terenie kraju. Zgodnie z postanowieniami ustawy z 11 maja 2001 roku dotyczącej Prawa o miarach (Dz. U. z 2020 r. poz. 140, 285, 568, 1086), Prezes Głównego Urzędu Miar jest centralnym organem administracji rządowej nadzorowanym przez ministra ds. gospodarki. Jego rola jest kluczowa dla zapewnienia spójności i zgodności z normami miarowymi, a także dla egzekwowania przepisów mających na celu skuteczną kontrolę jakości i precyzji pomiarów.

¹ <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/metrologia;3940142.html>

² <https://www.gum.gov.pl/pl/o-nas/prawo/423,Prawo.html>

Warto zauważyć, że dynamiczny rozwój technologiczny oraz coraz bardziej złożone wymagania rynku sprawiają, że rola metrologii staje się jeszcze bardziej strategiczna. Współczesne innowacje, zwłaszcza w obszarze technologii cyfrowych i nowoczesnych materiałów, wymagają nowych podejść do precyzyjnych pomiarów. Dlatego też, aby utrzymać konkurencyjność, Polska musi nieustannie inwestować w rozwój metrologii oraz intensyfikować współpracę z międzynarodowymi partnerami naukowymi i przemysłowymi.

Jednym z kluczowych wyzwań, z jakimi boryka się metrologia w Polsce, jest także nieustanny rozwój standardów miarowych i technologii pomiarowych. Zapewnienie zgodności z międzynarodowymi normami jest nie tylko kwestią prestiżu, ale przede wszystkim warunkiem sprawnego funkcjonowania międzynarodowego handlu i współpracy naukowej. Stąd konieczność ciągłego monitorowania i dostosowywania polskiego systemu metrologicznego do najnowszych osiągnięć światowej nauki.



W perspektywie długofalowej kluczowym celem metrologii w Polsce powinno być nie tylko utrzymanie wysokich standardów, ale także aktywne uczestnictwo w kształtowaniu przyszłych kierunków rozwoju tej dziedziny. Poprzez wspieranie badań naukowych, innowacji i edukacji metrologia może stać się motorem postępu technologicznego, przyczyniając się do zwiększenia potencjału konkurencyjnego kraju na arenie międzynarodowej.

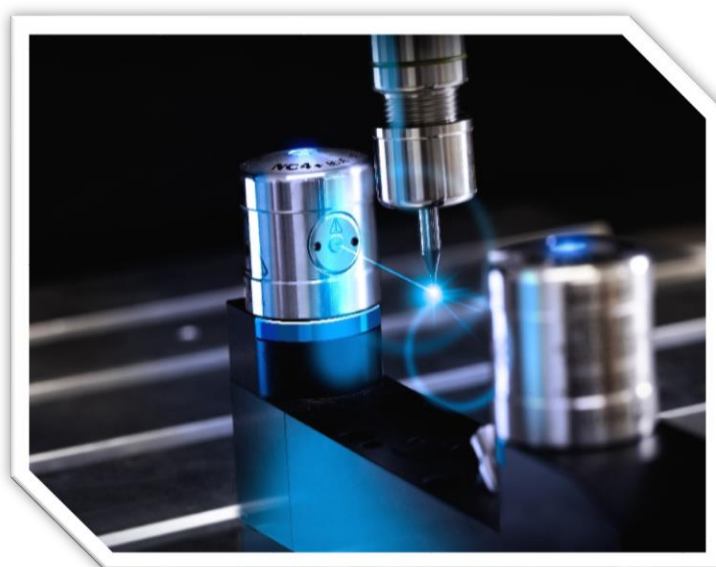
2. Sytuacja metrologii w Polsce w ostatnich latach

Raport, który znajduje się w Państwa rękach, obejmuje okres, w którym władze centralne zauważyły niezadowalającą sytuację w polskiej metrologii, przyznając jednocześnie, że jej rola w rozwoju gospodarczym i naukowym kraju jest niezwykle istotna. Z tego powodu Ministerstwo Gospodarki, nadzorujące Główny Urząd Miar – organ odpowiedzialny za kwestie miar, podjęło konkretne działania w celu zidentyfikowania problemów w krajowym systemie metrologicznym.

W celu przygotowania pełnej analizy obecnego stanu oraz wskazania działań naprawczych, do współpracy zaproszono cenionego eksperta, dr. Terrego Quina, długoletniego dyrektora Międzynarodowego Biura Miar i Wag – najważniejszej organizacji metrologicznej. Na zlecenie ministerstwa opracował On „Raport i rekomendacje w sprawie instytucjonalnych aspektów rozwoju metrologii w Polsce” datowany na 25 maja 2009 roku. Na podstawie tego dokumentu Ministerstwo Gospodarki przygotowało projekt „Założenia do projektu ustawy – Prawo o miarach”, który zakładał, między innymi, utworzenie Rady Metrologii i Krajowego Programu Badań i Rozwoju Metrologii.

W przedstawionym raporcie zwrócono szczególną uwagę na kluczowy cel nowej ustawy, którym jest ustanowienie nowoczesnego systemu metrologicznego zgodnego z międzynarodowymi standardami. Zasadniczym celem tego przedsięwzięcia jest skonstruowanie infrastruktury metrologicznej, która nie tylko spełni globalne normy, ale również doskonale odzwierciedli potencjał gospodarczy Polski. Raport podkreśla, że sukces w osiągnięciu tego celu zależy w dużej mierze od harmonijnej współpracy między sektorem gospodarczym a środowiskiem naukowym. Taka współpraca jest kluczowa dla efektywnego wykorzystania krajowego potencjału, co z kolei przyczyni się do zwiększenia konkurencyjności gospodarki. Integracja wiedzy naukowej z praktyką biznesową jest kluczowym elementem, który pozwoli na pełne wykorzystanie innowacyjnych rozwiązań i technologii. Wprowadzenie nowego systemu metrologicznego zgodnego z globalnymi standardami nie tylko umożliwi Polsce utrzymanie kroku z międzynarodowymi trendami, ale także stworzy warunki do rozwoju nowych technologii i innowacyjnych rozwiązań. Ostatecznym rezultatem będzie nie tylko zwiększenie konkurencyjności kraju na arenie międzynarodowej, ale także poprawa jakości życia obywateli poprzez zapewnienie im dostępu do wysokiej jakości produktów i usług.

Raport z tamtego okresu jednoznacznie wskazywał na niepokojącą sytuację dotyczącą Głównego Urzędu Miar (GUM) oraz jego roli jako krajowego instytutu metrologicznego. Bez koniecznych badań naukowych, zdolności GUM stawały się przestarzałe, co umieszczało go w niekorzystnym świetle w porównaniu do innych Krajowych Instytutów Metrologicznych (NMI) w Europie. Istniejące niedoskonałości sprawiały, że GUM nie był w stanie dorównać poziomowi swoich europejskich odpowiedników, a tym samym nie mógł zaspokoić przyszłych potrzeb polskiego przemysłu. Dodatkowo, raport wskazywał na braki w pełnieniu przez GUM zakresu obowiązków krajowego instytutu metrologicznego, co było istotnym zaniepokojeniem dla Polski. W owym czasie GUM nie spełniał w pełni wymagań stawianych krajowym instytucjom metrologicznym, co stwarzało realne zagrożenie dla rozwoju i konkurencyjności przemysłu kraju. Co więcej, stwierdzono, że GUM ledwo spełniał minimalne wymagania dotyczące zapewnienia spójności pomiarowej z państwowymi wzorcami jednostek miar przez świadczenie usług wzorcowania. Ten fakt podkreślał pilną potrzebę działań naprawczych i modernizacyjnych, aby GUM mógł skutecznie pełnić swoją rolę jako krajowy instytut metrologiczny. Wartościowe wnioski z raportu stanowiły bodziec do podejmowania natychmiastowych działań mających na celu poprawę sytuacji oraz dostosowanie GUM do współczesnych standardów metrologicznych.



W raporcie autor szczegółowo podkreślił, że obecny priorytet przyznany zwykłym wzorcowaniom w badanym instytucie znacząco odbiega od priorytetów

innych europejskich instytutów. Te ostatnie instytucje skupiają się głównie na wzorcowaniach na najwyższym poziomie, prowadzeniu badań naukowych oraz transferze technologii do sektora przemysłowego. Autor raportu jednak zaznaczył, że mimo tego odstępstwa ogólny zespół pracowników imponuje pod względem fachowości i entuzjazmu w wykonywaniu swoich obowiązków zawodowych³. Warto podkreślić, że autor raportu dostrzegł potencjał pracowników do realizacji bardziej ambitnych projektów i działań. Wyraził przekonanie, że zespół jest zdolny do znacznie więcej niż obecnie wykonuje. Choć praca wykonana dotychczas zdobyła uznanie za profesjonalizm i zaangażowanie, to jednak autor raportu podkreślił silne pragnienie pracowników do podejmowania większych wyzwań i przyczyniania się do projektów o większym zakresie.

W 2010 roku ówczesna Prezes Głównego Urzędu Miar (GUM) dostrzegła potrzebę strategicznych zmian w funkcjonowaniu instytucji. Zleciła opracowanie dokumentu obejmującego cele strategiczne GUM na okres lat 2010–2015. W wyniku kompleksowej analizy i dialogu z zespołem zarządzającym oraz kluczowymi interesariuszami, dokument ten został zatwierdzony i ogłoszony w lutym 2013 roku. Dokument strategiczny nie był statycznym narzędziem; przeciwnie, już w lutym 2013 r. poddano go gruntownej aktualizacji. W wyniku tego procesu uzupełniono go o nowe, strategiczne działania, które miały skutkować bardziej efektywną i nowoczesną administracją miar i probierczą. Warto podkreślić, że te zmiany nie były jedynie korektą bieżących praktyk, lecz odzwierciedleniem zaangażowania GUM w adaptację do dynamicznie zmieniającego się otoczenia. Zatwierdzenie zaktualizowanego dokumentu przez Kierownictwo GUM w dniu 26 lutego 2013 r. wyznaczyło nowe cele, którymi instytucja postanowiła się kierować. Wśród tych celów znalazły się:

1. Zapewnienie wysokiej jakości, efektywności i rozliczalności administracji miar i administracji probierczej.
2. Zapewnienie wykonywania przez GUM wszystkich zadań Krajowej Instytucji Metrologicznej (NMI).
3. Podniesienie roli i aktywności GUM jako krajowej instytucji metrologicznej na forum międzynarodowym.
4. Informatyzację administracji miar i administracji probierczej.

³ [https://orka.sejm.gov.pl/opinie6.nsf/nazwa/GOS_20100616_d4/\\$file/GOS_20100616_d4.pdf](https://orka.sejm.gov.pl/opinie6.nsf/nazwa/GOS_20100616_d4/$file/GOS_20100616_d4.pdf)

Raporty Najwyższej Izby Kontroli z lat 2015 i 2016 stanowiły istotne źródło wskazań krytycznych dotyczących dokumentu regulującego polski system metrologiczny. Wskazały na pewne niedociągnięcia, które znajdują odzwierciedlenie w dalszych fragmentach niniejszego opracowania. Mówiąc jednak o kontekście lat 2010–2015, warto sięgnąć do dwukrotnych wspólnych posiedzeń Komisji Sejmowych ds. Edukacji, Nauki i Młodzieży oraz Gospodarki. Podczas tychże spotkań opracowano treść dezyderatów, które następnie skierowano do Ministra Gospodarki oraz Prezesa Głównego Urzędu Miar (GUM), mających na celu przeprowadzenie istotnej reformy instytucjonalnej polskiej metrologii. Jeden z kluczowych dezyderatów, oznaczony numerem 10/4 z dnia 6 maja 2010 roku, zawierał stwierdzenie, że rozwinięte kraje charakteryzują się posiadaniem nowoczesnych państwowych instytutów metrologii, które skutecznie wspierają gospodarkę poprzez prowadzenie badań oraz transfer technologii. W tych krajach metrologia cieszy się wsparciem z zewnątrz, dzięki istnieniu ciała doradczego złożonego z wybitnych ekspertów pochodzących zarówno ze świata nauki i przemysłu, jak i przedstawicieli administracji państwowej. Ta obserwacja stanowiła punkt wyjścia do formułowania zaleceń mających na celu podniesienie efektywności polskiego systemu metrologicznego oraz doprowadzenie do jego zgodności z międzynarodowymi standardami. O dalszych aspektach reformy oraz implementacji sugerowanych zmian będziemy informować w dalszej części tego opracowania.



Zgodnie z obowiązującą ustawą z dnia 11 maja 2001 r. – Prawo o miarach (Dz. U. z 2016 r. poz. 884 i 1948), stwierdzono, że aktualny stan prawny stanowi

barierę dla Głównego Urzędu Miar (GUM) w prowadzeniu działań związanych z realizacją prac naukowych, badawczo-rozwojowych oraz transferem technologii do przemysłu. W obecnej sytuacji GUM skupia się głównie na zadaniach rutynowych związanych z wzorcowaniem przyrządów pomiarowych, co negatywnie wpływa na innowacyjność i konkurencyjność polskiego przemysłu. Niestety, brak możliwości angażowania się w projekty badawcze sprawia, że Polska traci potencjał rozwoju zaawansowanych technologii pomiarowych. Warto zauważyć, że istnieje pilna potrzeba znalezienia odpowiedniego partnera, który wspierałby rozwijanie innowacyjnych rozwiązań w dziedzinie metrologii. Reprezentanci środowisk przemysłowych wielokrotnie podkreślali nieadekwatność obecnego systemu do wyzwań, jakie stawia współczesny świat. Zaniepokojenie brakiem wsparcia dla badań naukowych i rozwoju wyrażali nie tylko przedstawiciele przemysłu, lecz także parlamentarzyści w licznych interpelacjach poselskich. Dodatkowo, instytucje o znaczeniu naukowym, takie jak Polska Akademia Nauk, Polski Komitet Normalizacyjny czy Polskie Centrum Akredytacji, apelują o fundamentalną i pilną przebudowę strukturalną w obszarze metrologii. Wskazując na potrzebę zmiany dotychczasowego podejścia, posłowie oraz instytucje naukowe i normatywne podkreślają, że modernizacja metrologii jest kluczowa dla długofalowego rozwoju kraju oraz utrzymania konkurencyjności na arenie międzynarodowej. W obliczu tych argumentów, konieczne staje się podjęcie skoordynowanych działań mających na celu dostosowanie regulacji do współczesnych wyzwań i umożliwienie Głównemu Urzędowi Miar pełniejszego zaangażowania w prace naukowe i badawcze.

Rekomendacje wszystkich istotnych środowisk, które wyrażają swoje stanowisko w kwestii konieczności przeprowadzenia pilnych zmian w obszarze metrologii, są jednomyślne. Zwracają one uwagę na kluczową potrzebę dostosowania struktury Głównego Urzędu Miar (GUM) do nowych wyzwań i oczekiwań związanych z dynamicznym rozwojem światowej metrologii. Eksperti podkreślają, że istnieje pilna konieczność znacznego zwiększenia roli metrologii naukowej jako istotnego elementu stymulującego rozwój gospodarczy, zwłaszcza w obszarach zaawansowanych technologii. W wielu wypowiedziach specjaliści podkreślają, że Główny Urząd Miar nie posiada statusu jednostki naukowej w oczach resortu nauki. Ta sytuacja uniemożliwia GUM korzystanie z krajowych środków finansowych przeznaczonych na wsparcie badań naukowych, zarówno indywidualnych, jak i realizowanych we współpracy z innymi podmiotami. Obecna

forma organizacyjna prawna administracji miar w Polsce wyklucza GUM spośród podmiotów uprawnionych do ubiegania się o środki projektowe i badawcze z Komisji Europejskiej. Krytycy zwracają uwagę, że brak wsparcia dla krajowego przemysłu wysokich technologii nie jest objęty zakresem zadań statutowych Głównego Urzędu Miar. Wskazują na tę kwestię jako istotną słabość, która wymaga natychmiastowego zaadresowania. Postulują, aby podejść do tej kwestii w sposób kompleksowy, dostosowując misję GUM do aktualnych potrzeb rozwojowych kraju i światowych standardów metrologicznych. W przypadku zaniedbania tego aspektu, istnieje ryzyko, że Polska może zostać zepchnięta na margines międzynarodowej współpracy naukowej i technologicznej w dziedzinie metrologii.



Z analizy raportu wynika, że już od 2010 roku Ministerstwo Gospodarki angażowało się w prace nad stworzeniem „Założeń do projektu ustawy – Prawo o miarach”. Celem tych działań było przededefiniowanie roli państwa w obszarze systemu miar, skupiając się na wspieraniu podmiotów gospodarczych oraz prowadzeniu prac badawczych i rozwojowych związanych z metrologią. Warto zauważyć, że w 2016 roku koncepcja reformy instytucjonalnej polskiej metrologii uległa zmianie. W opublikowanej nowelizacji ustawy Prawo o miarach z 18 maja 2017 roku zrezygnowano z wcześniejszej propozycji instytucjonalnego rozdzielenia funkcji narodowego instytutu metrologicznego i służby miar. Niemniej jednak, równocześnie podjęto środki mające na celu wzmocnienie

potencjału badawczego Głównego Urzędu Miar oraz podniesienie jego roli jako kluczowego partnera dla rozwoju innowacyjnej gospodarki w Polsce.

Nowelizacja wprowadziła szereg istotnych zmian mających na celu wzmocnienie i usprawnienie polskiego systemu metrologicznego. Kluczowe elementy reformy obejmują:

1. Utworzenie Rady Metrologii:

Nowo powołane forum skupia przedstawicieli instytucji państwowych, przemysłu i nauki, tworząc platformę do strategicznego i merytorycznego nadzorowania nad działalnością Głównego Urzędu Miar (GUM). Rada Metrologii ma za zadanie lepsze dostosowanie działań urzędu do dynamicznych potrzeb gospodarki, dzięki czemu procesy metrologiczne stają się bardziej zgodne z realnymi wymaganiami sektora przemysłowego.

2. Rozszerzenie zakresu zadań Prezesa GUM:

Nowelizacja nadała Prezesowi GUM dodatkowe zadania związane z prowadzeniem prac badawczych, naukowych oraz wspieraniem polskiego przemysłu. Ta innowacyjna rola sprawia, że GUM staje się kluczowym partnerem dla sektora przemysłowego, aktywnie uczestnicząc w procesie rozwoju nowoczesnych rozwiązań technologicznych i wspierając polskie przedsiębiorstwa.

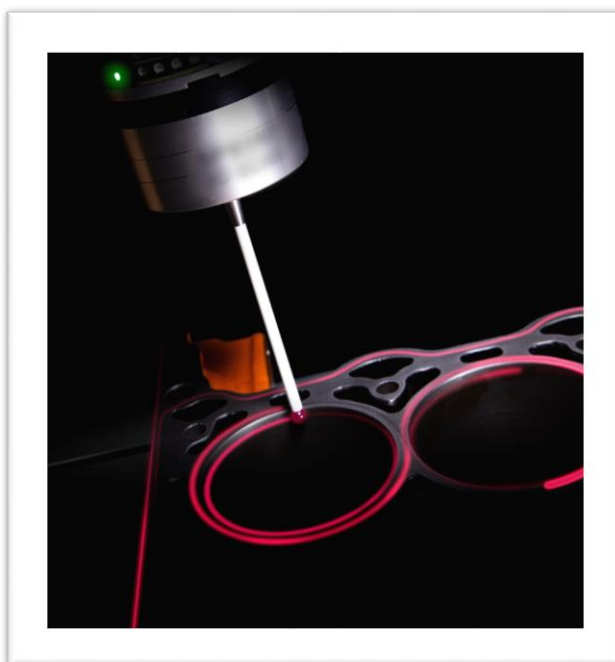
3. Mechanizmy planowania strategicznego i sprawozdawczości:

Nowe narzędzia planowania strategicznego i sprawozdawczości umożliwiają lepszą kontrolę nad działaniami GUM. Dzięki nim urząd może skoncentrować się na osiągnięciu celów strategicznych, co przekłada się na efektywne wykorzystanie zasobów. Te mechanizmy są kluczowe dla zwiększenia przejrzystości i efektywności działań GUM.

Wszystkie powyższe zmiany zostały wprowadzone w celu stworzenia silniejszego i bardziej responsywnego systemu metrologicznego w Polsce. Taki system nie tylko wspiera rozwój gospodarczy kraju, ale także przyczynia się do wzrostu innowacyjności poprzez aktywne zaangażowanie w badania naukowe i współpracę z sektorem przemysłowym⁴. Dzięki tym reformom, polski system

⁴ <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzu-dziennik-ustaw/zmiana-ustawy-prawo-o-miarach-oraz-ustawy-o-województwie-i-administracji-18602204>

metrologiczny staje się gotowy do sprostania wyzwaniom współczesnego świata i przyczyniania się do dynamicznego rozwoju kraju.



3. Problemy polskiej metrologii i sposoby przeciwdziałania

W analizach przeprowadzonych przez Najwyższą Izbę Kontroli (NIK) oraz Główny Urząd Miar (GUM) w okresie lat 2015-2016 ujawniono szereg istotnych problemów w polskiej metrologii, które wymagają kompleksowego podejścia i skoordynowanych działań:

1. Niedostateczna koordynacja instytucji metrologicznych:

Brak spójnej koordynacji między różnymi instytucjami zajmującymi się metrologią skutkowało nieefektywnością działań oraz powtarzaniem tych samych procesów. Konieczne jest ustanowienie skutecznych mechanizmów współpracy i wymiany informacji pomiędzy podmiotami, aby zminimalizować redundancje i zoptymalizować procesy.

2. Brak odpowiednich środków na rozwijanie infrastruktury metrologicznej:

Niedostateczne inwestycje w nowoczesną infrastrukturę metrologiczną ograniczyły możliwości przeprowadzania badań i kalibracji. Warto podjąć kroki mające na celu zapewnienie wystarczających środków finansowych na rozwój infrastruktury, co przyczyni się do podniesienia poziomu zaawansowania technologicznego w dziedzinie metrologii.

3. Niedostateczne finansowanie badań naukowych w metrologii:

Brak wystarczających środków na badania naukowe ograniczył rozwój nowych technologii pomiarowych. Główny Urząd Miar powinien aktywnie uczestniczyć w projektach badawczych, zapewniając istotne wsparcie przemysłu krajowego. Wskazane jest również dokładne monitorowanie publikacji naukowych, aby ocenić wkład GUM w rozwój wiedzy metrologicznej.

4. Niedostateczna edukacja i szkolenia w dziedzinie metrologii:

Brak skoordynowanych programów edukacyjnych i szkoleniowych dla pracowników w metrologii stanowi istotne wyzwanie. Wprowadzenie spersonalizowanych programów, dostosowanych do zmieniających się potrzeb branżowych, przyczyni się do podniesienia kwalifikacji pracowników oraz zwiększenia efektywności działań metrologicznych.

5. Brak skonsultowanych działań strategicznych z przedsiębiorcami:

W planowaniu działań strategicznych GUM nie uwzględnił opinii przedsiębiorców, czyli kluczowych interesariuszy administracji miar.

Konieczne jest ustanowienie regularnych konsultacji z przedstawicielami sektora prywatnego, aby lepiej zrozumieć potrzeby gospodarki państwa oraz dostosować strategie metrologiczne do rzeczywistych wyzwań i oczekiwań biznesowych.

Podjęcie skoordynowanych działań w zakresie powyższych kwestii jest kluczowe dla efektywnej modernizacji i rozwoju polskiej metrologii. Wdrożenie odpowiednich reform i inwestycji przyczyni się do podniesienia standardów, zwiększenia konkurencyjności oraz lepszego dostosowania się do dynamicznie zmieniającego się otoczenia gospodarczego.

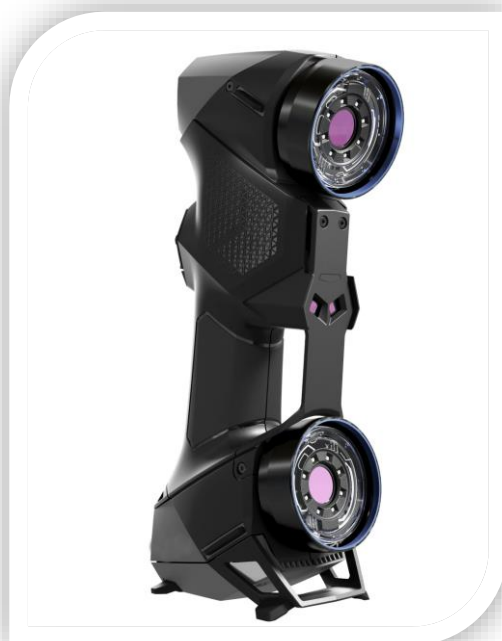


Raport NIK-u jednoznacznie ukazuje, że rozwój nauki, zwłaszcza w obszarze metrologii, stanowi nieodłączny składnik postępu w przemyśle oraz handlu. Metrologia odgrywa niezwykle istotną rolę tam, gdzie nowoczesne technologie wymagają precyzyjnych pomiarów oraz ścisłego przestrzegania norm

i standardów. Dane Głównego Urzędu Statystycznego z 2020 roku podkreślają, że w Polsce istnieje obfitość podmiotów skoncentrowanych na badaniach i rozwoju, z czego znaczną część stanowią przedsiębiorstwa. Nie można jednak zapominać o roli sektora szkolnictwa wyższego, który również aktywnie uczestniczy w obszarze badań i rozwoju. Metrologia nie tylko wspiera postęp naukowy i przemysłowy, ale także odgrywa kluczową rolę w ramach regulacji prawnych dotyczących gospodarki globalnej, ochrony środowiska i innych kwestii społecznych. W kontekście danych statystycznych z 2020 roku należy podkreślić, że dynamiczny rozwój metrologii w Polsce jest związany z zaangażowaniem licznych podmiotów, zarówno z sektora prywatnego, jak i publicznego. W obliczu globalnych wyzwań, takich jak postęp technologiczny, cyfryzacja, sztuczna inteligencja i zmiany klimatyczne, kluczowe staje się wzmocnienie bazy naukowej, innowacyjności oraz konkurencyjności zarówno krajowych, jak i europejskich jednostek naukowych i gospodarczych. Efektywne odpowiedzi na te wyzwania wymagają zintegrowanego podejścia, które uwzględnia współpracę między sektorem publicznym, prywatnym a instytucjami edukacyjnymi. Rozwój metrologii staje się zatem nie tylko celem samym w sobie, lecz kluczowym narzędziem umożliwiającym skuteczne radzenie sobie z dynamicznymi zmianami we współczesnym środowisku naukowym, przemysłowym i społecznym.

Rok 2017 okazał się przełomowy dla polskiej metrologii, gdyż w tym czasie wprowadzono istotne zmiany poprzez nowelizację ustawy Prawo o miarach. W efekcie podpisanej przez Prezydenta RP w dniu 6 maja 2017 roku nowelizacji powstała długo oczekiwana Rada Metrologii. Jej powołanie było kluczowym krokiem w kierunku ugruntowania i doskonalenia systemu metrologicznego w Polsce. Rada Metrologii pełni istotną rolę, opiniując stan i kierunek rozwoju krajowej metrologii, działalności merytorycznej administracji miar, strategicznego planu oraz rocznych planów i sprawozdań, zgodnie z postanowieniami art. 16 Ustawy o miarach. Jej istnienie stanowi ważne ogniwo wspierające rozwój metrologii w Polsce, a działalność Rady ukierunkowana jest na zapewnienie wysokich standardów w dziedzinie pomiarów. 4 sierpnia 2022 roku Minister Rozwoju i Technologii, Waldemar Buda, dokonał powołania 16 członków drugiej już Rady Metrologii. Przedstawiciele tej Rady reprezentują różnorodne sfery życia publicznego, obejmując struktury państwowe, przedsiębiorstwa przemysłowe oraz instytucje naukowe. Rada, posiadając pięcioletnią kadencję, ma za zadanie kontynuować prace na rzecz doskonalenia

i harmonijnego rozwoju polskiej metrologii, tworząc strategiczne kierunki oraz wspierając innowacje w tej dziedzinie. Powołanie Rady Metrologii i skompletowanie jej składu z przedstawicieli różnych sektorów to istotny krok w budowaniu spójnego i nowoczesnego systemu pomiarowego w Polsce⁵. Działalność tej instytucji przyczynia się do wzrostu zaufania do polskich standardów metrologicznych zarówno na poziomie krajowym, jak i międzynarodowym. Współpraca pomiędzy administracją, przemysłem a nauką w ramach Rady Metrologii stanowi solidny fundament dla rozwoju precyzyjnych pomiarów w Polsce.



Rok 2021, a szczególnie 30 sierpnia tegoż roku, stanowił istotny punkt zwrotny, zapisując się w historii jako kolejny kamień milowy. W tym właśnie dniu, na mocy zlecenia Ministra Edukacji i Nauki, Politechnika Lubelska podjęła zobowiązanie do realizacji ambitnego zadania pod nazwą „Utworzenie i koordynowanie działalności Polskiej Unii Metrologicznej (PUM)”. Ten kluczowy moment zaowocował nie tylko wzmocnieniem roli Polski w dziedzinie metrologii, ale także otworzył drzwi do szeroko zakrojonych badań i projektów

⁵ <https://www.gum.gov.pl/pl/o-nas/rada-metrologii>

badawczo-rozwojowych o strategicznym znaczeniu dla postępu nauki, technologii oraz przemysłu w kraju. Inicjatywa utworzenia Polskiej Unii Metrologicznej, we współpracy z Głównym Urzędem Miar, nie tylko spełniła istniejące oczekiwania, ale także stworzyła dogodne warunki dla dynamicznego rozwoju polskiego środowiska naukowego. Nowo powstała struktura z powodzeniem zaczęła realizować powierzone jej zadania, zgodnie z potrzebami zgłaszanymi przez ekspertów i naukowców zarówno z Polski, jak i spoza jej granic. W efekcie, Polska Unia Metrologiczna stała się kluczowym ośrodkiem skupiającym kompetencje, umożliwiającym prowadzenie zaawansowanych prac badawczych, a także efektywnie reprezentującym kraj na arenie międzynarodowej. Ten krok w kierunku integracji i koordynacji działań w obszarze metrologii miał istotny wpływ na podniesienie standardów naukowych i technologicznych, jednocześnie umacniając pozycję Polski jako ważnego gracza w globalnym kontekście. Dzięki temu osiągnięciu, Polska Unia Metrologiczna z powodzeniem odpowiada na wyzwania współczesności, przyczyniając się do postępu nauki i innowacji na krajowym i międzynarodowym poziomie.

Inicjatywa Polskiej Unii Metrologicznej (PUM) stanowiła kluczową odpowiedź na wyzwania związane z koniecznością usieciowienia współpracy międzyinstytucjonalnej w ramach kraju. Przed jej powstaniem istniała widoczna potrzeba centralnego organu, który skoordynowałby i integrował działania metrologiczne na poziomie krajowym. Brak tej koordynacji skutkowało tym, że różne jednostki naukowe, przemysłowe i instytucje rządowe działały w izolacji, co nie tylko prowadziło do podwójnych wysiłków, ale także do nieefektywnego wykorzystywania zasobów. Działania PUM były ukierunkowane na eliminację tych niedoskonałości poprzez stworzenie platformy, która umożliwiła skonsolidowanie wysiłków i wymianę doświadczeń w dziedzinie metrologii. Jednym z kluczowych etapów tego procesu było podpisanie listów intencyjnych przez różnorodne podmioty, które zobowiązały się do aktywnego uczestnictwa w Unii Metrologicznej. Wśród tych podmiotów znalazły się renomowane instytucje, takie jak:

- Akademia Górniczo-Hutnicza.
- Akademia Kaliska.
- Akademia Marynarki Wojennej.
- Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej.
- Akademia Zamojska.

- Centrum Badań Kosmicznych PAN.
- Centrum Łukasiewicz.
- Główny Urząd Miar.
- Instytut Mechaniki Górotworu PAN.
- Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie.
- Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Nysie.
- Politechnika Białostocka.
- Politechnika Częstochowska.
- Politechnika Gdańska.
- Politechnika Koszalińska.
- Politechnika Krakowska.
- Politechnika Lubelska.
- Politechnika Łódzka.
- Politechnika Opolska.
- Politechnika Poznańska.
- Politechnika Rzeszowska.
- Politechnika Śląska.
- Politechnika Świętokrzyska.
- Politechnika Warszawska.
- Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Metalurgii.
- Szkoła Główna Służby Pożarniczej w Warszawie.
- Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach.
- Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego.
- Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej.
- Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie.
- Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu.
- Uniwersytet Warszawski.
- Uniwersytet w Białymstoku.
- Uniwersytet Zielonogórski.
- Wojskowa Akademia Techniczna.
- Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie.
- Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.

Poprzez aktywne uczestnictwo tych instytucji, PUM skutecznie zainicjowała proces integracji, wzmacniając jednocześnie potencjał metrologiczny kraju. Współpraca ta, oparta na wymianie wiedzy i zasobów, miała na celu nie tylko

eliminację redundancji, ale także stworzenie synergii, której efektem było skoncentrowane i efektywne podejście do metrologii na skalę krajową. W ten sposób Polska Unia Metrologiczna stała się ważnym narzędziem w promowaniu innowacji, rozwoju naukowego oraz podnoszenia standardów metrologicznych we wszystkich dziedzinach.

Kolejnym kamieniem milowym w doskonaleniu infrastruktury metrologicznej stało się skonstruowanie zaawansowanego narzędzia – Bazy Infrastruktury Metrologicznej. Problemem, który wymagał pilnego rozwiązania, był brak jednolitej bazy danych, gromadzącej informacje o dostępnym sprzęcie metrologicznym w różnych jednostkach. Ten brak spowalniał postęp naukowy, utrudniając badaczom dostęp do niezbędnych narzędzi do realizacji ich projektów. Stworzenie nowoczesnej bazy, która aktywnie zbiera informacje o wyposażeniu poszczególnych jednostek w sprzęt metrologiczny, to kluczowy krok w rozwoju metrologii w Polsce. Ta innowacyjna platforma umożliwia jednostkom naukowym i badawczym łatwe udostępnianie informacji o dostępnym sprzęcie metrologicznym. To z kolei sprzyja intensyfikacji współpracy międzyinstytucjonalnej, ponieważ badacze mogą teraz łatwo identyfikować inne jednostki posiadające niezbędny sprzęt do realizacji swoich projektów. Współpraca między instytucjami otwiera drogę do bardziej zaawansowanych i innowacyjnych badań. Dzięki zcentralizowanej bazie, eliminuje się ryzyko dublowania zakupów i inwestycji w ten sam sprzęt przez różne jednostki naukowe. To istotne, gdyż pozwala na optymalizację wykorzystania środków finansowych i zasobów. Baza ta nie tylko gwarantuje dostępność informacji o dostępnym sprzęcie, ale również zwiększa efektywność badań. Badacze mogą teraz szybko i sprawnie znaleźć odpowiednie narzędzia do swoich projektów, co znacznie przyspiesza postęp naukowy i wpływa korzystnie na rozwój metrologii w Polsce.

Polska Unia Metrologiczna, mając na celu rozwijanie dziedziny metrologii, aktywnie podejmuje się różnorodnych zadań. Jednym z kluczowych obszarów działań jest integracja środowisk zajmujących się metrologią poprzez promowanie współpracy międzyinstytucjonalnej. Organizacja seminariów, sympozjów, konferencji i kongresów stanowi istotny element strategii Polskiej Unii Metrologicznej. W ostatnim czasie, w dniach 17–19 października 2022, Polska Unia Metrologiczna z powodzeniem zrealizowała Międzynarodową Konferencję Metrologiczną pod nazwą „News Trends in Metrology”. To wydarzenie przyciągnęło uwagę 250 ekspertów oraz przedstawicieli

przemysłu z obszaru metrologii nie tylko z Polski, ale również z Włoch, Anglii, Czech, Ukrainy, Niemiec oraz Słowenii, zarówno w trybie stacjonarnym, jak i zdalnym. Podczas konferencji poruszono różnorodne tematy, skupiając się na wpływie współczesnej metrologii na gospodarkę. Szczególnie istotnymi kwestiami była rozmowa na temat metrologii aplikacyjnej oraz identyfikacji kierunków jej rozwoju w kontekście badań naukowych i wdrożeń praktycznych. Eksperti omówili również potencjalne zastosowania wyników badań w przemyśle, a także dyskutowali na temat wykorzystania sztucznej inteligencji w dziedzinie metrologii. Interesujące panele dotyczyły także metrologii w trójwymiarowym ilościowym obrazowaniu fazowym na poziomie komórkowym oraz problematyki związanej z niepewnościami pomiarowymi w współrzędnościowej technice pomiarowej. Ponadto, uwaga została skierowana na aspekty metrologiczne obecne w akredytowanych laboratoriach badawczych⁶. Działania Polskiej Unii Metrologicznej podczas konferencji doskonale wpisują się w cel propagowania innowacyjnych rozwiązań w dziedzinie metrologii oraz tworzenia platformy do wymiany wiedzy i doświadczeń między ekspertami z różnych krajów. To wydarzenie stanowiło istotny wkład w rozwój naukowy i technologiczny, umożliwiając uczestnikom nawiązanie owocnych współpracy oraz zdobycie nowych perspektyw na przyszłość metrologii.



⁶ <https://pum.pollub.pl/aktualnosci/miedzynarodowa-konferencja-metrologiczna-new-trends-in-metrology-174.html>

Polska Unia Metrologiczna konsekwentnie realizuje swoje cele, mające na celu propagowanie i promowanie metrologii poprzez różnorodne inicjatywy. Organizacja aktywnie uczestniczy w Targach Przemysłowych, gdzie prezentuje najnowsze osiągnięcia i innowacje w dziedzinie pomiarów. Ponadto, regularnie organizuje seminaria metrologiczne, dostarczając platformy do wymiany wiedzy i doświadczeń między ekspertami z tej dziedziny. Polska Unia Metrologiczna objęła także patronat nad różnymi konkursami metrologicznymi, wspierając rozwój talentów i promując innowacyjne podejścia do pomiarów. Przykładając wagę do edukacji, organizacja aktywnie uczestniczy w dniach popularyzacji nauki, gdzie prezentuje fascynujące aspekty metrologii szerokiemu gronu odbiorców. Dodatkowo, przedstawiciele Polskiej Unii Metrologicznej są aktywni w mediach, biorąc udział w programach radiowych i telewizyjnych, aby dostarczyć informacje na temat roli i znaczenia metrologii w codziennym życiu. Warto zauważyć, że wcześniej wymienione inicjatywy nie były skoordynowane przez środowiska metrologiczne. Jednak Polska Unia Metrologiczna wprowadza zmianę poprzez skuteczną koordynację tych działań, co przyczynia się do zwiększenia efektywności i zasięgu działań promujących metrologię w Polsce. Choć proces rozwijania zainteresowania metrologią jest długotrwały, działania podejmowane przez Polską Unię Metrologiczną stanowią istotny krok w kierunku poprawy ogólnej sytuacji metrologii w kraju.

W ciągu ostatnich dwóch lat, jak można zauważyć na powyższych przykładach, środowisko skupione wokół Polskiej Unii Metrologicznej dokonało znaczącego postępu. To okres intensywnej pracy, który zaowocował niezwykłym rozwojem dziedziny metrologii w Polsce. Nigdy wcześniej nie mieliśmy do czynienia z tak szeroką ofertą dla metrologów, a nacisk na rozwój tej dziedziny oraz inwestycje w nią osiągnęły historyczne znaczenie.

Szczególnym wydarzeniem było powołanie Klastra Metrologicznego 6 kwietnia 2022 roku na Targach Przemysłowych w Kielcach. Ten innowacyjny związek integruje ośrodki naukowo-badawcze, instytucje akademickie, organy państwowe oraz przedstawicieli biznesu i przemysłu. Inicjatorem tego przedsięwzięcia jest Główny Urząd Miar, który realizuje unikalną inwestycję na skalę europejską – Świętokrzyski Kampus Laboratoryjny. Partnerem GUM w ramach tego projektu jest Politechnika Świętokrzyska w Kielcach. W efekcie powstają najnowocześniejsze laboratoria metrologiczne w stolicy regionu świętokrzyskiego, oferujące zaawansowane usługi pomiarowe dla polskich uczelni i przemysłu. Klaster Metrologiczny, skupiony wokół Świętokrzyskiego Kampus

Laboratoryjnego, ma strategiczny cel – udostępnianie rozwiązań z sektora metrologii polskiemu biznesowi oraz aktywne wspieranie planów rozwoju krajowej metrologii. Targi Kielce, jako wiodący ośrodek wystawienniczy w Europie Środkowo-Wschodniej, pełnią rolę koordynatora Klastra Metrologicznego⁷. To porozumienie nie tylko integruje środowisko metrologiczne, ale również umożliwia efektywne opiniowanie i dostosowywanie planów rozwoju tej istotnej dziedziny w Polsce. Wspólna praca i zaangażowanie różnych sektorów gospodarki mają na celu stworzenie korzystnych warunków dla rozwoju krajowego przemysłu, korzystając z najnowszych osiągnięć w dziedzinie metrologii.

W ostatnich latach znacząco poszerzono zakres wsparcia dla metrologów poprzez dedykowane programy stypendialne, dostosowane do ich specyficznych potrzeb. Jednym z przełomowych przykładów jest program stypendialny doktoraty wdrożeniowe, funkcjonujący od 2017 roku. W odpowiedzi na dynamiczny rozwój dziedziny metrologii oraz rosnące znaczenie tego obszaru w kontekście nowoczesnych technologii, program ten został niedawno wzbogacony o trzeci moduł, noszący nazwę „Doktorat wdrożeniowy III – metrologia”. Nowy moduł tego programu stanowi istotne wsparcie dla doktorantów, którzy prowadzą badania naukowe z zakresu metrologii w kontekście jej zastosowań w procesach technologicznych i społecznych. Program skupia się zwłaszcza na obszarach związanych z dynamicznym rozwojem technologii cyfrowych oraz najnowszych osiągnięć w dziedzinie zdrowia, ochrony środowiska, energetyki oraz zaawansowanych technik pomiarowych⁸. W ramach tego nowego modułu, dziewiętnastu doświadczonych metrologów z Centralnego Urzędu Miar (GUM) zostało zakwalifikowanych do udziału w VI edycji programu stypendialnego. Ich udział pozwoli na jeszcze głębsze zrozumienie i rozwinięcie obszarów metrologii, które mają istotne znaczenie dla postępu w dziedzinie technologii oraz wpływu na aspekty społeczne, środowiskowe i energetyczne. Program stypendialny doktoraty wdrożeniowe III – metrologia staje się zatem kluczowym narzędziem wspierającym rozwój kompetencji metrologów oraz promującym innowacje w obszarze pomiarów naukowych.

Udział w prestiżowym programie Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Doktorat Wdrożeniowy” stanowi znaczący krok w realizacji strategicznych

⁷ <https://www.klastermetrologiczny.pl/>

⁸ <https://gum.gov.pl/pl/wiedza/doktoraty-wdrozeniowe/>

celów Głównego Urzędu Miar (GUM). Wspomniany program doskonale wpisuje się w założenia strategii tej instytucji, której kluczowymi elementami są:

- Nadanie wyjątkowego priorytetu działalności badawczo-rozwojowej w obszarze metrologii, co stanowi istotną koncepcję dla doskonalenia precyzji pomiarów i standardów w Polsce.
- Doskonalenie kompetencji naukowo-badawczych, co umożliwia rozwijanie wiedzy i umiejętności kadry naukowej, zwiększając tym samym potencjał badawczy kraju.
- Wdrażanie innowacyjnych metod pomiarowych, co przyczynia się do podnoszenia efektywności i precyzji procesów pomiarowych oraz stawia Polskę na czołowym miejscu w dziedzinie nowoczesnych technologii pomiarowych.
- Transfer technologii, czyli przenoszenie wyników badań naukowych do praktyki gospodarczej, co wspomaga rozwój innowacyjności i konkurencyjności przedsiębiorstw.
- Szeroka współpraca z otoczeniem gospodarczym, co oznacza aktywne zaangażowanie GUM w dialog z sektorem prywatnym, wspierając wymianę wiedzy, doświadczeń i innowacji.



Program „Doktorat Wdrożeniowy” został uruchomiony w 2017 roku, co świadczy o długofalowej strategii rozwoju naukowego i technologicznego, realizowanej przez Główny Urząd Miar. Wspomniany program nie tylko stanowi ważne osiągnięcie dla uczestników, ale także wpisuje się w dynamiczny rozwój

polskiej nauki i gospodarki poprzez efektywne wykorzystanie potencjału badawczego i innowacyjności.

2 listopada 2021 roku Minister Edukacji i Nauki ustanowił program pod nazwą „Polska Metrologia”, który stanowi istotny krok w kierunku rozwoju metrologicznego środowiska naukowego. Program ten, mający na celu wzmacnianie potencjału metrologicznego kraju, skupia się na wspieraniu projektów, których realizacja przyczyni się do podniesienia poziomu zdolności badawczych instytucji metrologicznych. Główne założenia programu obejmują nie tylko wzmocnienie kapitału intelektualnego, ale także zwiększenie konkurencyjności polskiej gospodarki w obszarach strategicznych dla kraju. Program „Polska Metrologia” skierowany jest także na rozwój nowoczesnych technologii, ze szczególnym naciskiem na stymulowanie postępu w dziedzinie metrologii. Priorytetem jest rozwijanie tej dziedziny w kontekście zdrowia, ochrony środowiska, efektywności energetycznej oraz zaawansowanych technik pomiarowych. Obecnie trwa rekrutacja do drugiej edycji programu, co stanowi znakomitą okazję dla instytucji metrologicznych do aktywnego uczestnictwa w inicjatywach mających istotny wpływ na rozwój kraju⁹. Program ten nie tylko wspiera innowacyjność w dziedzinie metrologii, ale również sprzyja rozwojowi technologii cyfrowych, co jest kluczowe w erze postępu technologicznego. Poprzez udział w programie „Polska Metrologia”, instytucje mają szansę nie tylko na zdobycie wsparcia finansowego, ale także na nawiązanie współpracy z innymi podmiotami z branży, co może prowadzić do synergii i wzajemnego korzystania z doświadczeń. To inicjatywa, która kładzie nacisk na rozwój sektora metrologicznego w Polsce, tworząc jednocześnie platformę do długofalowej współpracy naukowej i technologicznej.

27 maja 2022 roku stał się przełomowym momentem z perspektywy synergii między nauką a gospodarką. W tym dniu Prezydent Rzeczypospolitej Polskiej podpisał ustawę z dnia 12 maja 2022 r., wprowadzającą istotne zmiany w ustawie dotyczącej Prawa o szkolnictwie wyższym i nauce, a także niektórych innych aktów prawnych, w tym ustawy z dnia 11 maja 2001 r. o Prawie o miarach. Nowelizacja tej ustawy miała głęboki wpływ na zakres działań Prezesa Głównego Urzędu Miar (GUM), którego podstawowe obowiązki zostały rozszerzone o prowadzenie badań naukowych oraz prac rozwojowych. To zdecydowane poszerzenie kompetencji otwiera nowe możliwości dla GUM, umożliwiając mu aktywne uczestnictwo jako

⁹ <https://www.gov.pl/web/edukacja-i-nauka/program-polska-metrologia>

wnioskodawca w konkursach na realizację projektów badawczych ogłaszanych przez Narodowe Centrum Nauki i Narodowe Centrum Badań i Rozwoju¹⁰. Dzięki tym zmianom, Prezes GUM może teraz współpracować z innymi podmiotami, tworząc konsorcja, które mogą skuteczniej konkurować o środki na projekty badawcze. Nowe uprawnienia pozwalają na skuteczniejsze wykorzystanie potencjału badawczego GUM, co wpisuje się w dążenia do zacieśnienia więzi między światem nauki a sektorem gospodarczym. Wprowadzenie tej nowelizacji stanowi istotny krok w kierunku budowania silniejszych powiązań między instytucjami naukowymi a przedsiębiorstwami, co sprzyja innowacyjności, rozwojowi technologicznemu i zwiększeniu konkurencyjności gospodarki. Otwarcie drzwi dla GUM w obszarze badań naukowych dodatkowo wspiera polskie inicjatywy badawcze, pozycjonując kraj jako istotnego gracza w międzynarodowym środowisku naukowym.



¹⁰ <https://dziennikustaw.gov.pl/D2022000111701.pdf>

4. Metrologia chemiczna

Najważniejszym wyzwaniem w dziedzinie metrologii chemicznej w Polsce jest konieczność zapewnienia dostępu do zestawu chemicznych i materiałów odniesienia, które są certyfikowane i dostosowane do potrzeb laboratoriów, zwłaszcza tych działających w obszarach objętych przepisami prawnymi. Główny Urząd Miar wspiera te działania, między innymi poprzez utrzymanie produkcji wzorców mieszanin gazowych i jonów metali. Niemniej jednak brakuje zarówno infrastruktury, jak i procedur, które wspierałyby produkcję bardziej zróżnicowanych materiałów odniesienia. W kontekście pomiarów chemicznych, jednostki nie posiadają infrastruktury laboratoriów wzorcujących ani uniwersalnego systemu zapewniającego spójność pomiarową.

Ogromnym atutem jest fakt, że w Polsce powstaje wiele zespołów badawczych, współpracujących z uczelniami lub instytutami naukowymi, które angażują się w opracowywanie i walidację innowacyjnych technik oraz procedur pomiarowych związanych z właściwościami chemicznymi. Instytucje zajmujące się zagadnieniami metrologii chemicznej to m.in.:

- Polska Akademia Nauk – w ramach PAN działają komitety naukowe, w tym Komitet Chemii Analitycznej.
- Polski Komitet Normalizacyjny – w PKN działa 337 Komitetów Technicznych, w tym wiele z nich obejmuje swoim działaniem również pomiary chemiczne.
- Klub Polskich Laboratoriów Badawczych POLLAB – do statutowych zadań Klubu należy organizacja tematycznych sympozjów, szkoleń oraz prowadzenie działalności wydawniczej związanej z działalnością laboratoriów badawczych i wzorcujących, w tym laboratoriów chemicznych i biochemicznych.
- Laboratoria akredytowane w Polsce – badania chemiczne i biochemiczne, zgodnie z zasadami metrologii są realizowane w akredytowanych laboratoriach badawczych. Akredytacji udziela Polskie Centrum Akredytacji.

5. Metrologia energetyczna

Obecna i przyszła transformacja cyfrowa społeczeństw i gospodarek stawia przed dziedziną metrologii nowe wyzwania. Priorytetowo należy uwzględnić wykorzystanie sztucznej inteligencji oraz uczenia maszynowego w celu rozwiązania problemów z obszaru metrologii. Rozwój w tym kierunku obejmuje nie tylko narzędzia pomiarowe oparte na tych technologiach, lecz przede wszystkim rozwijanie i wdrażanie metod wykorzystujących te technologie do oceny wiarygodności danych pomiarowych. Aktualnie w Polsce ten obszar metrologii rozwija się niezwykle słabo.

Głównymi kierunki, w jakich jest konieczny rozwój metrologii energetycznej są:

- nowoczesne systemy energetyczne, w tym systemy energetyki rozproszonej;
- rozwój technologii czujników;
- opracowanie nowych metod pomiarowych;
- opracowanie nowych metod przetwarzania i walidacji wyników pomiarowych, opartej w dużej mierze na sztucznej inteligencji;
- cyfrowa transformacja;
- diagnostyka medyczna;
- komplementarność i samowystarczalność metrologiczna Europy oparta na krajowych kompetencjach w zakresie metrologii oraz na krajowej specjalizacji metrologicznej.

Postęp w dziedzinie metrologii w kontekście nowoczesnej energetyki, ze szczególnym uwzględnieniem energetyki rozproszonej, odnawialnych źródeł energii i elektromobilności, jest obecny jedynie w działalności naukowej wybranych krajowych ośrodków metrologicznych. Badania skoncentrowane są głównie na ocenie jakości energii elektrycznej, pomiarze parametrów sieci elektroenergetycznych oraz eksploracji nowych materiałów izolacyjnych. Pomimo tego, aktywność badawcza w tej dziedzinie nie osiąga oczekiwanej intensywności, biorąc pod uwagę szybki rozwój nowoczesnych technologii energetycznych. Ważne jest, aby ośrodki metrologiczne ściśle współpracowały zarówno z instytucjami zajmującymi się eksploatacją sieci energetycznych, jak i z ośrodkami badawczymi, które skupiają się na rozproszonych systemach energetycznych, odnawialnych źródłach energii, magazynowaniu energii oraz elektromobilności. Przy ocenie stanu metrologii w kraju należy podkreślić,

że w Polsce istnieją już ośrodki, które rozwijają technologie czujników pomiarowych dedykowanych do szybkiej, małoinwazyjnej i ekonomicznej diagnostyki, dlatego obecnie kluczowe zdaje się efektywne współdziałanie pomiędzy światem nauki a przemysłem.

6. Metrologia fizyczna

Metrologia fizyczna to obszerne zagadnienie obejmujące różnorodne aspekty pomiarów. Należy do niego zakres pomiarów bieżących, wykorzystywanych w codziennych zadaniach społeczeństwa, takich jak np. pomiar objętości paliwa podczas tankowania. Wchodzi w nie także sfera pomiarów przeprowadzanych w ramach badań naukowych, obejmując także nowe metody pomiarowe wielkości fizycznych. Dodatkowo, metrologia fizyczna obejmuje pomiarowe działania instytucji certyfikujących urzędnicy i systemy pomiarowe.

Analiza obszaru metrologii fizycznej w Polsce ukazuje, że samo pojęcie to jest bardzo ogólne, co sprawia trudności w określeniu jej aktualnego stanu. Metrologia fizyczna jest tak powszechna i istotna, że została włączona w ramach wielu wyspecjalizowanych dziedzin metrologii. W świetle tego Główny Urząd Miar, jako instytucja centralna oraz kampus będący centrum integracji i wspierania rozwoju metrologii w Polsce, może podjąć się działań mających na celu zdefiniowanie głównych obszarów metrologii, ze szczególnym uwzględnieniem metrologii fizycznej. Takie zdefiniowanie może stanowić podstawę do stworzenia bazy danych opartej na tych kluczowych obszarach, odzwierciedlającej dyscypliny naukowe związane z pracami badawczymi i przemysłowymi. Istnieje jednak istotny problem związany z pozyskiwaniem danych od instytucji badawczych, uczelni i firm prywatnych. Kolejnym wyzwaniem jest sformułowanie kluczowych obszarów, które nie tylko odnoszą się do kompetencji metrologicznych, ale także przynoszą konkretne efekty gospodarcze.

Instytuty badawcze skupiają swoją działalność głównie na realizacji badań naukowych i komercyjnych z korzyścią dla gospodarki, firm przemysłowych oraz projektów w ramach programów krajowych i międzynarodowych. Wykonywanie tych zadań wymaga korzystania ze specjalistycznej aparatury pomiarowej, ale skupienie się głównie na projektach stosowanych może ograniczać możliwości prowadzenia prac badawczych w obszarze metrologii fizycznej jako dziedziny podstawowej. Z drugiej strony, w przypadku uczelni technicznych, w ostatnich latach można zauważyć zwiększone zainteresowanie badaniami w obszarze nauk podstawowych, w tym pomiarów wielkości fizycznych. To podejście znajduje odzwierciedlenie w pracach nad rozwijaniem nowych rozwiązań systemów pomiarowych, zwłaszcza w kontekście metrologii dedykowanej do zastosowań przemysłowych.

Z perspektywy identyfikacji potrzeb i strategicznych kierunków rozwoju polskiej metrologii, istotne jest przeprowadzenie analizy obszarów badań naukowych i certyfikacji. Szczególny nacisk należy położyć nie tylko na sam proces pomiarowy, ale także na rozwój tych procesów i metod, opierając się na badaniach naukowych.

7. Metrologia optyczna

Metrologia optyczna to dziedzina nauki i techniki, wykorzystująca promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu optycznego do przeprowadzania pomiarów. W XXI wieku doszło do prawdziwej rewolucji w obszarze widzenia maszynowego. Dynamiczny rozwój uczenia maszynowego, wspierany znacznie szybszym sprzętem obliczeniowym z zaawansowanymi procesorami graficznymi, umożliwił znaczący rozwój zastosowań widzenia maszynowego w dziedzinie zadań przemysłowych, które wcześniej były trudne do zautomatyzowania. Ta transformacja istotnie zwiększyła efektywność niektórych istniejących działań związanych z widzeniem maszynowym, takich jak produkcja, bezpieczeństwo, medycyna i inżynieria lądowa. W przypadku innych zastosowań, na przykład w rolnictwie, budownictwie oraz w przemyśle farmaceutycznym i spożywczym, otworzyła zupełnie nowe perspektywy. Znaczące zmiany zaszły także w obszarze pomiarów na poziomie mikro i nano, które z jednej strony wspierają metrologię przemysłu półprzewodnikowego, a z drugiej strony dostarczają nowoczesnych narzędzi badawczych i diagnostycznych dla medycyny na poziomie komórkowym i tkankowym.

W ramach programu Polska Metrologia prowadzony jest projekt związany z pomiarami przemieszczeń i odkształceń dużych obiektów inżynierskich za pomocą systemów multikamerowych, które dysponują rozproszonymi w przestrzeni i czasie polami pomiarowymi systemów CKO. Jednocześnie systemy CKO i interferometrii shearingowej są powszechnie stosowane w laboratoriach uczelni i instytutów badawczych. Niemniej jednak rzadko dokładnie analizuje się niepewność wyników pomiarów, a także brakuje akredytacji dla tych systemów pomiarowych. Badania naukowe, które korzystają z tych metod, skupiają się głównie na analizie wytrzymałości nowych materiałów, badaniu elementów wytworzonych nowymi technologiami oraz testowaniu elementów konstrukcyjnych o wysokiej odpowiedzialności.

8. Metrologia prawna

Metrologia prawną stanowią różne składniki, które są uregulowane w przepisach prawa i mają na celu zapewnienie odpowiedniego stopnia pewności co do wyników pomiarów. Te elementy obejmują jednostki miar, procedury pomiarowe, normy techniczne i metrologiczne dla przyrządów pomiarowych, a także kwestie związane z kontrolą i nadzorem. Realizacja celów metrologii prawnej obejmuje przeprowadzanie prawnych ocen przyrządów pomiarowych oraz sprawowanie nadzoru metrologicznego.

Ze względu na ciągły rozwój metrologii, a także postęp w dziedzinie jednostek miar i innych aspektów, istnieje konieczność określenia, które jednostki należy używać w określonym kontekście lub sytuacji. W związku z tym istnieje potrzeba wprowadzenia środków prawnych, które zapobiegą potencjalnej nieścisłości w pomiarach, wynikającej z łatwego do pominięcia niejednolitego stosowania jednostek miar.

W Polsce podlegają prawnej kontroli metrologicznej przyrządy pomiarowe, które są lub mogą być używane m.in. w: utrzymaniu bezpieczeństwa i porządku publicznego, ochrony zdrowia i życia, ochronie środowiska, ustalaniu kar umownych, wynagrodzeń i odszkodowań, pobieraniu opłat i podatków.

Warto zauważyć, że od czasu ustalenia obecnych przepisów dokonuje się ciągły postęp w dziedzinie projektowania różnych rodzajów przyrządów pomiarowych. Aktualne podstawy metrologii prawnej, w tym jej struktura, zostały sformułowane w zupełnie innej rzeczywistości technologicznej. W wielu przypadkach prostych przyrządów pomiarowych zastąpiono bardziej skomplikowanymi urządzeniami. Wyjątkowym wyzwaniem jest na przykład przechodzenie od zintegrowanej budowy przyrządów pomiarowych do konstruowania ich w sposób rozproszony. Ponadto, wykaz przyrządów podlegających certyfikacji na podstawie krajowych przepisów i unijnych dyrektyw metrologicznych pozostaje praktycznie niezmienny od około dwóch dekad. Analizy danych sugerują, że brakuje zainteresowania certyfikacją pewnych rodzajów przyrządów pomiarowych, a jednocześnie rośnie potrzeba uwzględnienia nowych grup przyrządów pomiarowych w obszarze objętym regulacjami.

9. Metrologia przemysłowa

Analizując sytuację metrologii przemysłowej w Polsce, łatwo dostrzec, że głównym źródłem trudności tej dziedziny jest niedostatek wykwalifikowanej kadry. Obecnie dla wielu rozwijających się firm ważniejsze staje się inwestowanie w pracowników niż w nowe urządzenia, ponieważ właściwe zrozumienie i obsługa narzędzi pomiarowych oraz nowoczesnych technologii wymagają specjalistycznej wiedzy. Kluczowym elementem jest rozwój ogólnej wiedzy metrologicznej oraz kompetencji pracowników z zakresu metrologii. Edukacja i szkolenia odgrywają tu kluczową rolę, zwłaszcza te prowadzone przez uczelnie i instytuty, które posiadają specjalistyczne podejście do metrologii oraz doświadczonych ekspertów prowadzących badania naukowe w tej dziedzinie. Dlatego też inicjatywy takie jak projekty Polska Metrologia czy doktoraty wdrożeniowe, organizowane pod patronatem Ministerstwa Edukacji i Nauki, zdobyły szerokie uznanie zarówno wśród kadry badawczej, jak i pracowników przedsiębiorstw.

Na szczęście większość korporacji już dawno przeszła okres, w którym zakłady produkcyjne w Polsce wyposażano w używane i zużyte urządzenia pomiarowe, co generowało problemy nie tylko z bieżącym funkcjonowaniem, ale także z koniecznością obsługi technicznej. Nowe fabryki planują teraz zakup nowoczesnych urządzeń, przy czym decyzje te często są podejmowane centralnie. Duże firmy, szczególnie korporacje, dysponują zaawansowanym wyposażeniem pomiarowym. Niemniej jednak współczesne systemy pomiarowe coraz częściej opierają się na komputerach o dużych możliwościach obliczeniowych i zaawansowanych kartach graficznych. Wadą tego podejścia jest jednak stosunkowo szybkie starzenie się technologii, co wymusza stałe inwestycje w nowe urządzenia.

10. Metrologia wielkości geometrycznych

Metrologia wielkości geometrycznych stanowi część metrologii stosowanej, zajmując się pomiarami różnych wielkości używanych do numerycznego opisu cech geometrycznych elementów materiałowych. GUM utrzymuje powiązanie wzorców pomiarowych z międzynarodowym systemem jednostek za pomocą współpracy z instytucjami metrologicznymi w ramach Konwencji Metrycznej oraz Europejskiego Stowarzyszenia Krajowych Instytucji Metrologicznych EURAMET. Obecnie GUM świadczy około 150 różnych usług wzorcowania z zakresu pomiarów wielkości geometrycznych. W kraju działa również około 50 akredytowanych laboratoriów wzorcujących, oferujących usługi w zakresie pomiarów długości i kąta, w tym geometrii powierzchni oraz pomiarów w układach współrzędnościowych.

Na podstawie danych GUS dotyczących posiadania aparatury badawczo-rozwojowej, choć trudno precyzyjnie określić, ile z tego sprzętu jest wykorzystywane w dziedzinie metrologii, dostarczają one ogólnego obrazu stosowania specjalistycznego wyposażenia przez różne podmioty. Według tych danych, około 50% przedsiębiorstw w sektorze usług i produkcji posiada tego rodzaju sprzęt, podczas gdy ponad 90% Państwowych Instytutów Badawczych oraz mniej niż połowa placówek edukacyjnych również go używa. Mimo to problemem jest to, że wiele jednostek nadal nie posiada katalogu infrastruktury badawczej, co utrudnia współpracę wewnętrznych, interdyscyplinarnych zespołów badawczych.

W kontekście programu naukowo-badawczego związanego z budową Świętokrzyskiego Kampusu Laboratoryjnego Głównego Urzędu Miar, wyznaczono kluczowe obszary badawcze do eksploracji przy wykorzystaniu infrastruktury Kampusu. Najwięcej, aż 11 tematów, zaplanowano dla GUM związanych z obszarem długości i kąta. Z kolei zespoły metrologiczne, prowadzące badania projektowe w ramach programu Polska Metrologia, skupiają się na problematyce pomiarów dużych obiektów, rozwijając jednocześnie zagadnienia dotyczące pomiarów nierówności powierzchni oraz precyzji wymiarowo-kształtowej. Rozległe przedsięwzięcia w obszarze metrologii wielkości geometrycznych wyraźnie ilustrują jej kluczową rolę.

Obecnie istnieje zapotrzebowanie przemysłu na rozwinięcie standardów wzorcowania obrabiarek CNC, które są wyposażone w sondy pomiarowe pełniące funkcję współrzędnościowych przyrządów pomiarowych do realizacji pomiarów

wielkości geometrycznych. W tym kontekście istotna jest szczegółowa analiza źródeł błędów w pomiarach przeprowadzanych na obrabiarkach CNC, z uwzględnieniem szczegółowej charakterystyki błędów sondy pomiarowej.

11. Metrologia współrzędnościowa

Metrologia współrzędnościowa odgrywa kluczową rolę w postępie innych dziedzin metrologii, ponieważ precyzyjne pomiary są niezbędne do skutecznej realizacji celów takich jak transformacja, nowoczesna diagnostyka medyczna, czy rozwój systemów energetycznych. Obecnie, systemy pomiarowe oparte na współrzędnościach stanowią najbardziej zaawansowane technologicznie rozwiązania wykorzystywane w dziedzinie inżynierii produkcji.

Metrologia współrzędnościowa stale ewoluuje dzięki nowym technologiom kalibracji i oceny dokładności pomiarów, jednak jej rozwój w Polsce odbywa się zróżnicowanym tempem. Pomimo ciągłego postępu, zauważa się niskie nasycenie w zakresie współrzędnościowych technik pomiarowych. Konieczne są inwestycje wspierane środkami z Unii Europejskiej. Wzrasta również zapotrzebowanie na specjalistów z obszaru metrologii współrzędnościowej oraz rośnie znaczenie laboratoriów wzorcujących specjalizujących się w tej technologii.

Kluczowe jest ułatwienie tworzenia zespołów badawczych w obszarze metrologii współrzędnościowej poprzez integrację interdyscyplinarnych grup badawczych z różnych ośrodków akademickich i przemysłowych. Istotne jest także znaczące zwiększenie dostępu do najbardziej precyzyjnych systemów pomiarowych na światowym poziomie poprzez efektywną współpracę i synergę. Ośrodki badawcze mają również za zadanie rozwijać kulturę metrologiczną w krajowym przemyśle. W tym kontekście Polska Unia Metrologiczna oraz projekt grantów Metrologii Polskiej MEN odgrywają istotną rolę, zwłaszcza w kontekście ostatnich lat, gdy Główny Urząd Miar integruje wspólną krajową politykę metrologiczną. Ważne jest również inwestowanie w nowoczesne systemy pomiarowe polskich przedsiębiorstw, a także aktywna rola państwa w wspieraniu tego procesu oraz konieczne kształcenie w uczelniach technicznych, w tym poprzez kursy i studia podyplomowe.

12. Podsumowanie

Od roku 2017 można zauważyć wyraźne postępy w dziedzinie polskiej metrologii, które znacząco przyczyniły się do jej rozwoju i modernizacji. Pierwsze innowacyjne rozwiązania pojawiły się jako swoiste preludium do pozytywnych zmian w tym obszarze. Jednak prawdziwy skok jakościowy nastąpił dopiero w 2021 roku, kiedy to utworzona została Polska Unia Metrologiczna. To wydarzenie stanowiło kamień milowy, przynosząc istotne postępy i skoordynowane działania mające na celu podniesienie standardów metrologicznych w kraju.

Mimo osiągniętych sukcesów, metrologia w Polsce stoi w obliczu różnorodnych wyzwań, które wymagają skoncentrowanych działań. Jednym z kluczowych aspektów jest zagwarantowanie stabilnego finansowania, co pozwoli na ciągłe doskonalenie i rozwijanie infrastruktury metrologicznej. Wspieranie badań nad nowoczesnymi technologiami pomiarowymi i inwestycje w rozwój zaawansowanych narzędzi metrologicznych są niezbędne, aby sprostać rosnącym oczekiwaniom w dziedzinie pomiarów.

Ponadto istnieje konieczność zapewnienia dostępu do wykwalifikowanej kadry specjalistycznej, która będzie w stanie skutecznie odpowiadać na rozwijające się wyzwania w dziedzinie metrologii. Edukacja i szkolenia specjalistyczne powinny być wspierane, aby utrzymać wysoki poziom kompetencji w tej dziedzinie.

W kontekście dynamicznych zmian technologicznych, polska metrologia musi utrzymywać krok z postępem, dostosowując się do nowoczesnych trendów i technologii. Innowacyjne podejścia do metrologii, takie jak zastosowanie sztucznej inteligencji, analiza danych czy zaawansowane technologie pomiarowe, są kluczowe dla utrzymania konkurencyjności i efektywności w różnych sektorach gospodarki.

Poprawa sytuacji w dziedzinie metrologii nie tylko przyczynia się do rozwoju naukowego i technicznego kraju, ale ma również ogromne znaczenie dla gospodarki. Precyzyjne i wiarygodne pomiary są niezbędne w wielu sektorach, takich jak przemysł, zdrowie czy ochrona środowiska. Dlatego kontynuacja wysiłków mających na celu rozwijanie tej dziedziny oraz promowanie innowacyjnych rozwiązań w metrologii jest niezwykle istotna dla zapewnienia jakości i efektywności w różnych dziedzinach życia społecznego.

Aby utrzymać pozytywny trend rozwoju polskiej metrologii, kluczowe jest zapewnienie Polskiej Unii Metrologicznej stabilnego finansowania na kolejne lata jej działalności. To inwestycja w przyszłość, która przyniesie długoterminowe korzyści dla rozwoju naukowego, technologicznego i gospodarczego Polski. Stworzenie partnerstw z instytucjami edukacyjnymi, badawczymi i przemysłowymi może dodatkowo przyspieszyć postęp w dziedzinie metrologii, tworząc synergiczne środowisko współpracy i innowacji. W ten sposób Polska może nie tylko utrzymać się na czele rozwoju metrologicznego, ale także wpływać na globalne standardy tej dziedziny.

13. Bibliografia

1. Adamczewski J., Pomiary cieplne część II, WNT, Warszawa 1995.
2. Alaluss M., Kurth R., et al., 2022, Potential of Tool Clamping Surfaces in Forming Machines for Cognitive Production, Journal of Machine Engineering, 22/3.
3. Baranowska I., Analiza śladowa – zastosowania, wyd. I, Warszawa, Wydawnictwo MALAMUT, 2013.
4. Barbosa, C.R.H.; Sousa, M.C.; Almeida, M.F.L.; Calili, R.F. Smart Manufacturing and Digitalization of Metrology: A Systematic Literature Review and a Research Agenda. Sensors 2022, 22.
5. Bleicher F., Ramsauer C., 2021, Tooling Systems with Integrated Sensors Enabling Data Based Process Optimization, Journal of Machine Engineering, 21/1.
6. Bulska E., Metrologia chemiczna, wyd. II, Warszawa, Wydawnictwo Malamut, 2012.
7. CCL Length Services Classification (DimVIM)”, ver.12, 2020, BIPM, www.bipm.org.
8. Czteroletni strategiczny plan działania Głównego Urzędu Miar 2022–2025”, GUM, https://bip.gum.gov.pl/ftp/pdf/BIP/Plany/2022/Czteroletni_strategiczny_plan_dzialania_GUM_2022-2025_26_11_2021.pdf.
9. Czulek D., Szumski D., Modernizacja państwowego wzorca jednostki długości poprzez zastosowanie syntezerza częstotliwości, Metrologia. Biuletyn Głównego Urzędu Miar, Nr 3(18) 2010.
10. DAPT-01, „Akredytacja organizatorów badań biegłości”, wyd. 7, Warszawa, 2022.
11. DARM-01, „Akredytacja producentów materiałów odniesienia”, wyd. 3, Warszawa, 2022.
12. Długość przewodnik po dziedzinie, 2018, GUM, www.gum.gov.pl
13. Działalność Głównego Urzędu Miar i Jednostek Terenowych. Raport Roczny 2021. https://www.gum.gov.pl/ftp/pdf/Publikacje/Raport_calos___2021_popr.pdf.
14. EA-4/22 G: 2018 Wytyczne EA dotyczące akredytacji analiz pozostałości pestycydów w żywności i paszach (Oryginał publikacji: EA-4/22 Guidance on Accreditation of Pesticide Residues Analysis in Food and

- Feed, rev 00, 30 November 2018 Tłumaczenie wykonano w Polskim Centrum Akredytacji, 13.11.2019 r.).
15. Friedrich C., Ihlenfeldt S., 2022, Spatial Compliance Measurement of a Clamping Table with Integrated Force Sensors, *Journal of Machine Engineering*, 22/1.
 16. Gruszka J., Wieczorowski M., Śmierzchalska B., Szelewski M., Zachwiej I., Śmierzchalski D., *Laboratorium Wzorcujące ITA, Mechanik*, 5-6, 2018.
 17. *International Vocabulary of Terms in Legal Metrology*, OIML, 2000, https://www.oiml.org/en/publications/vocabularies/en/files/pdf_v/v001-ef00.pdf.
 18. Kealey D., Haines P.J., *Chemia analityczna, tłumaczenie z j. angielskiego* BIOS Scientific Publisher, wyd. polskie, Warszawa, PWN, 2005.
 19. Tegmark M., *Life 3.0*, Penguin Books, 2018.
 20. Walsh M., *The Algorithmic Leader: How to Be Smart When Machines Are Smarter Than You*, Page Two Books, Inc., 2019.
 21. Mathia T.G., Pawlus P., Wieczorowski M. Recent trends in surface metrology, *Wear*, 271 (3-4), 2011.
 22. Mendels D.A., Hack E., Siegmann P., Patterson E.A, Salbut L., Kujawinska M. et al., 2004, 'Round robin exercise for optical strain measurement', *Proc. 12th Int. Conf. Exptl. Mechanics, Advances in Experimental Mechanics*, edited by C. Pappalettere, McGrawHill, Milano.
 23. *Międzynarodowy Słownik Metrologii Prawnej*, Główny Urząd Miar, 2015, https://www.gum.gov.pl/ftp/pdf/Wydawnictwa/Miedzynarodowy_Sloownik_Terminow_Metrologii_Prawnej.pdf; analogicznie w: OIML V 1 Edition 2022 (E/F).
 24. *Międzynarodowy słownik metrologii. Pojęcia podstawowe i ogólne terminy z nimi związane, (VIM), PKN-ISO/IEC Guide 99*, 2010.
 25. Miller T., Adamczak S., Świdorski J., Wieczorowski M., Łętocha A., Gapiński B., Influence of temperature gradient on surface texture measurements with the use of profilometry, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 65 (1), 2017.
 26. *Modelling the economic impact of legal metrology, EXPERT REPORT – OIML E 7*, 2015.

27. Müller A., Oiml D., What does it take to start a career in legal metrology?, w: Oiml Bulletin, Volume LXIII, nr 4, 2022.
28. Nauka i technika w 2020 roku, 2020, GUS.
29. OIML D 1 Edition 2020,
https://www.oiml.org/en/publications/documents/en/files/pdf_d/d001-e20.pdf
30. Olszewska (Kamińska) P., Zmiany w podejściu do prawnej kontroli metrologicznej, Metrologia i Probiernictwo, Biuletyn Głównego Urzędu Miar nr 2(2)/2013.
31. Olszewska P. Metrologia prawna, w: Vademecum. Polska administracja miar i administracja probiercza, 2022.
32. Osten W., Reingand N. (Eds), Optical Imaging and Metrology, Wiley-VCH, Weinheim 2012.
33. Patorski K., Handbook of the Moire Fringe Technique, Elsevier, Amsterdam, 1993.
34. Patorski K., Kujawińska M., Sałbut L., Interferometria laserowa z automatyczną analizą obrazu, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
35. Pawlus P., Reizer R., Wieczorowski M., Parametric Characterization of Machined Textured Surfaces, Materials, 16, 2023.
36. Piotrowski J., Pomiar, czujniki i metody pomiarowe wybranych wielkości fizycznych i składu chemicznego, WNT, Warszawa 2009.
37. PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02, Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
38. Popiołek W., Strategia instytucjonalnego rozwoju metrologii w Polsce, w: Informator o działalności Komitetu Metrologii i Aparatury Naukowej w kadencji 2010-2014, 2014.
39. Prichard E., Barwick V., Quality Assurance in Analytical Chemistry, wyd. I, John Wiley&Sons, Ltd, Anglia, 2007 r.
40. Pyrzyńska K., Analiza przepływowa – od teorii do praktyki, wyd. I, Warszawa, Wydawnictwo Malamut, 2017 r.
41. Raport końcowy z prac Grupy Roboczej WG6 ds. pomiarów przestrzennych, geodezyjnych, geofizycznych i zastosowań technik satelitarnych, działającej w ramach Konsultacyjnego Komitetu Metrologicznego ds. Infrastruktury i Zastosowań Specjalnych (KZM4)”, 2019, GUM.

42. Sanetra C., Marban R.M, The answer to the global quality challenge. A national quality infrastructure, 2007.
43. Schwab K., Czwarta rewolucja przemysłowa, Studio EMKA, 2018.
44. Shimizu Y., An insight into optical metrology in manufacturing, 2021 Meas. Sci. Technol. 32 042003.
45. Smith M.L., The quiet revolution in machine vision-a state-of-the-art survey paper, including historical review, perspectives, and future directions, Computers in Industry 130 (2021) 103472.
46. Sutton M.A., Orteu J.J., Schreier H., Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements. Springer US, 2009.
47. Swojak N., Wieczorowski M., Jakubowicz M., Assessment of selected metrological properties of laser triangulation sensors, Measurement, 176, 2021.
48. Tomlinson R.A., Whelan, M.P., Calibration and evaluation of optical systems for full-field strain measurement. Optics and Lasers in Engineering, 2007, 45(5).
49. Tugi H., Podejście procesowe – nowe wyzwanie dla laboratoriów, Laboratorium – przegląd ogólnopolski, 1/2018.
50. West D.M., Skoog D.A., Holler J., Crouch S.R., Chemia analityczna, wyd. 2, tom 1-3, Warszawa, PWN, 2023.
51. Wieczorowski M., Gapiński B., Gąska A., Sładek J., Woźniak A., Kowaluk T., Kujawińska M., Stępień K., Adamczak S., NSMET – Narodowa Sieć Metrologii Współrzędnościowej, Stal Metale Nowe Technologie, 3-4, 2021.
52. Wieczorowski M., Kucharski D., Śniatała P., Pawlus P., Królczyk G., Gapiński B., A novel approach to using artificial intelligence in coordinate metrology including nano scale, Measurement, 217, 2023, 113051.
53. Wieczorowski M., Metrologia przyszłości. Czy powinniśmy się bać?, Stal Metale Nowe Technologie, 3-4, 2023.
54. Wieczorowski M., Pawlus P., Gapiński B., Perspektywy współczesnej metrologii, Mechanik, 12, 2019.
55. Wieczorowski M., Wyzwania metrologii w kontekście przemysłu przyszłości, Stal Metale Nowe Technologie, 3-4, 2021.
56. Wieczorowski, M., Trojanowska, J., Sokolov, O., Digital and Information Technologies in Metrology 4.0, Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2023, 81–90.

57. Wieczorowski, M., Trojanowska, J., Towards Metrology 4.0 in Dimensional Measurements, Journal of Machine Engineering, 23, 1, 2023.
58. Wykaz uczelni publicznych nadzorowanych przez Ministra właściwego ds. szkolnictwa wyższego – publiczne uczelnie zawodowe, www.gov.pl/web/edukacja-i-nauk
59. Wzorce pomiarowe o najwyższych właściwościach metrologicznych w kraju przechowywane w Głównym Urzędzie Miar, 2018, GUM, www.gum.gov.pl

Źródła internetowe:

60. <https://www.euramet.org/european-metrology-networks/advanced-manufacturing>
61. <https://www.gum.gov.pl/pl/wiedza/publikacje/wydawnictwa-informacyjn/vademecum-polska-administracja/5045,Vademecum-Polska-administracja-miar-i-administracja-probiercza.html>
62. Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej, www.gov.pl/web/kgpsp
63. Polski Komitet Normalizacyjny, www.pkn.pl
64. Polskie Centrum Akredytacji, www.pca.gov.pl
65. Portal Nauka Polska, www.nauka-polska.opi.org.pl
66. Rada Główna Instytutów Badawczych, www.rgib.org.pl
67. Szkolnictwo wojskowe - Akademie wojskowe, www.gov.pl/web/obrona-narodowa/szkolnictwo-wojskowe
68. Szkoły policji, bip.kgp.policja.gov.pl/kgp/linki/szkoly-policji
69. www.pca.gov.pl