



Projekt pt.: „Wpływ techniki i barwy pomiaru na jakość odwzorowania powierzchni elektromagnetycznych”, nr PM-II/SP/0090/2024/02 przyjęty do finansowania w drodze konkursu na realizację projektów w ramach programu pod nazwą Polska Metrologia II, ogłoszonego komunikatem Ministra Edukacji i Nauki.

Okres realizacji projektu: 05.02.2024 r. - 04.02.2026 r.

Całkowita wartość projektu: 794 325,40 zł

Wartość dofinansowania z budżetu państwa: 794 325,40 zł

Umowa podpisana w dniu 20.02.2024 r.

Opis osiągniętych celów i uzyskanych efektów projektu (w tym zastosowania praktyczne)

Wszystkie założone we wniosku rezultaty zostały osiągnięte. Najważniejszym rezultatem całego projektu było opracowanie metodologii wykorzystania mikroskopów optycznych do prawidłowego odwzorowania powierzchni technologicznej o różnej strukturze i kolorze przy wykorzystaniu posiadanych technik i metod pomiarowych oraz możliwości zastosowania zmiennych barw światła.

W tym celu koniecznym było:

- Przeprowadzenie analizy literatury w zakresie wpływu barwy światła na jakość odwzorowania powierzchni elektromagnetycznych metodami bezstykowymi.
- Wyselekcjonowanie i zlecenie wykonania 177 próbek pomiarowych (40x40x20 mm) z 6 materiałów inżynierskich (stal C45, stal nierdzewna 304, aluminium 7075, mosiądz MO58A, tytan Ti6Al4V, grafit ELLOR) w 3 kompletach dla każdego ośrodka badawczego (Politechnika Opolska, Politechnika Poznańska, GUM).
- Przygotowanie 9 różnych typów powierzchni technologicznych dla każdego materiału: frezowanie zgrubne i wykończeniowe, toczenie zgrubne i wykończeniowe, nagniatanie, cięcie WEDM (1 i wiele przejść), szlifowanie, szkiełkowanie, honowanie.





- Realizacja pomiarów powierzchni technologicznych z zastosowaniem różnych technik optycznych (Focus Variation, Confocal, Confocal Fusion, Coherence Scanning Interferometry) przy użyciu światła niebieskiego, zielonego, czerwonego i białego.
- Zbudowanie bazy wyników pomiarów referencyjnych i optycznych, umożliwiającą porównania według materiału, technologii, techniki pomiarowej, barwy światła oraz parametrów jakości odwzorowania.
- Ujednolicenie danych w MountainsMap 10.0, ich eksport, archiwizację, filtrowanie i przygotowanie do analiz statystycznych oraz wizualizacji.
- Opracowanie założeń narzędzi wspierających automatyczną selekcję danych, korelację wyników oraz dobór warunków pomiaru; zastosowano również metody uczenia maszynowego.
- Sformułowanie zalecenia i ograniczenia dla FV, CSI, mikroskopii konfokalnej i Confocal Fusion, wspierające prawidłowe odwzorowanie powierzchni o różnej refleksyjności i geometrii.

W ramach realizacji projektu przygotowano i zgłoszono do czasopisma Metrology & Hallmark dwa artykuły naukowe, oba z udziałem pracowników Głównego Urzędu Miar.

- Pierwszy z nich, pt. „Influence of machining method and material type on surface roughness parameters and their relative values”, został zgłoszony 29 stycznia 2026 r.
- Drugi artykuł, pt. „Measurement approach for evaluating the influence of optical techniques and illumination wavelength on surface reconstruction quality”, został zgłoszony 27 stycznia 2026 r. W tym przypadku przeprowadzono pełny proces recenzyjny, uwzględniający przygotowanie odpowiedzi na uwagi recenzentów, a następnie artykuł został zaakceptowany do publikacji.

Z uzyskanych informacji dotyczących procesu wydawniczego wynika, że oba artykuły zostały zaakceptowane i przekazane do dalszego etapu procesu publikacyjnego. Opóźnienie ich formalnego ukazania się drukiem wynika z przedłużającego się procesu wydawniczego, niezależnego od autorów. Tym samym zasadniczy cel naukowy rezultatu, tj. przygotowanie, zgłoszenie, przeprowadzenie procesu recenzyjnego i uzyskanie akceptacji dwóch publikacji w Metrology & Hallmark, został zrealizowany.

Formalne opublikowanie artykułów nastąpi po zakończeniu procedur wydawniczych po stronie wydawcy.





Jednocześnie realizacja rezultatu została rozszerzona o publikacje i zgłoszenia do innych czasopism:

- W dniu 20 czerwca 2026 r. artykuł „Workflow-transfer benchmark of optical surface-roughness measurements against an internal tactile baseline across engineering materials and manufacturing processes”, został opublikowany w czasopiśmie Measurement Science and Technology
- Ponadto w dniu 24 lipca 2026 r. zgłoszono do czasopisma Precision Engineering artykuł „Instrument and illumination aware prediction of profile and areal roughness in precisionburnished metallic surfaces”. Dokumentacja potwierdza przekazanie tego artykułu do procesu recenzji.

Należy również wskazać, że wcześniej, w czerwcu i lipcu 2026 r., podjęto próbę publikacji dwóch artykułów w czasopiśmie Measurement. Pomimo odrzucenia tych zgłoszeń, artykuły te zostały następnie skierowane do w/w czasopism.

W ramach działalności badawczej prowadzonej na Politechnice Opolskiej systematycznie realizowane są prace badawcze i pomiarowe na rzecz przedsiębiorstw, których zakres tematyczny jest bezpośrednio związany z problematyką realizowanego grantu, w szczególności z metrologią powierzchni, pomiarami parametrów geometrycznych oraz wykorzystaniem optycznych technik pomiarowych i skanowania 3D.

Wykaz zrealizowanych prac potwierdza, że współpraca z przedsiębiorstwami ma charakter powtarzalny i jest prowadzona na przestrzeni kolejnych lat. Obejmuje ona m.in. wykonanie pomiarów falistości z wykorzystaniem optycznego profilometru 3D Sensofar, skanowanie wolumetryczne 3D elementów spawanych, pomiary na maszynie współrzędnościowej z wykorzystaniem mobilnego skanera, a także badania elementów mechanicznych. Prace te były realizowane m.in. dla UFI FILTERS POLAND Sp. z o.o., CZORA Sp. z o.o. Sp. k., FERRPOL – BRACIA MATUSZEWSCY Sp. z o.o., Eltechnik oraz OZAS-ESAB Sp. z o.o.

Istotne jest, że współpraca ta była prowadzona zarówno przed rozpoczęciem realizacji projektu, jak i w okresie jego realizacji, co wskazuje na jej ciągły charakter oraz utrzymujące się zainteresowanie przedsiębiorstw wykorzystaniem potencjału badawczego i infrastruktury pomiarowej uczelni. W 2025 r. zrealizowano m.in. dla UFI FILTERS POLAND Sp. z o.o. pomiary falistości z wykorzystaniem





profilometru optycznego 3D, co pozostaje bezpośrednio związane z tematyką procedur pomiarów powierzchni rozwijanych w ramach grantu.

Realizowana współpraca stanowi jednocześnie naturalną ścieżkę do wdrażania rezultatów projektu w praktyce gospodarczej. Kontakty z przedsiębiorstwami pozwalają na konfrontowanie opracowywanych metod i procedur pomiarowych z rzeczywistymi potrzebami przemysłu, identyfikowanie obszarów ich praktycznego zastosowania oraz dalsze rozwijanie rozwiązań odpowiadających na potrzeby przedsiębiorstw.

W ramach projektu odbyło siedem seminariów/warsztatów przez cały okres trwania projektu w formule spotkań bezpośrednich lub hybrydowych.

Otrzymane wyniki były prezentowane na konferencjach krajowych i międzynarodowych:

- 18th Global Congress on Manufacturing and Management (GCMM 2024, Bangkok, 4–7 grudnia 2024)
- Konstelacja Szkół Naukowych w Inżynierii Mechanicznej 2025, 24-26 września 2025
- Konferencja międzynarodowa International Conference on Manufacturing Engineering and Materials ICMEM 2025, 23–27 czerwca 2025 r. Nový Smokovec (Słowacja)
- Konferencja międzynarodowa MANUFACTURING 2026, 19-21 maja 2026, Poznań
- Konstelacja Szkół Naukowych w Inżynierii Mechanicznej – KSN'2026, 23–25 września 2026 roku, Kraków-Wieliczka

Znaczenie naukowe i praktyczne

Projekt wypełnia lukę dotyczącą wpływu barwy światła oraz właściwości powierzchni na wyniki pomiarów optycznych topografii. Jego znaczenie naukowe polega na połączeniu danych referencyjnych i optycznych w jednym schemacie walidacyjnym oraz na uwzględnieniu równocześnie parametrów topografii, cech technologicznych i miar jakości pomiaru. Podejście to umożliwia ocenę, czy obserwowane różnice są skutkiem rzeczywistego stanu powierzchni, czy ograniczeń toru optycznego i przyjętej konfiguracji pomiarowej.

Znaczenie praktyczne rezultatów wiąże się z możliwością bardziej świadomego doboru techniki pomiarowej i oświetlenia w laboratoriach przemysłowych i naukowych. Opracowane zalecenia mogą ograniczyć liczbę niepoprawnych pomiarów, skrócić czas przygotowania procedur pomiarowych oraz





zwiększyć porównywalność wyników kontroli jakości. Baza danych i algorytmy analityczne stanowią również podstawę do dalszego rozwijania narzędzi wspomagających operatora, w tym rozwiązań wykorzystujących sztuczną inteligencję.

Wnioski końcowe

- Nie istnieje jedna technika optyczna optymalna dla wszystkich rodzajów powierzchni. Dobór metody powinien uwzględniać chropowatość, nachylenie zboczy, refleksyjność, kolor materiału i dominujące cechy tekstury.
- Barwa oświetlenia stanowi istotny parametr konfiguracji pomiaru i powinna być dobierana łącznie z techniką optyczną oraz właściwościami powierzchni, a nie traktowana jako ustawienie drugorzędne.
- Porównanie z profilometrią stykową pozostaje ważnym elementem walidacji, jednak ocena zgodności powinna obejmować nie tylko wartości bezwzględne, lecz także relacje bezwymiarowe i miary jakości odwzorowania.
- Udział punktów niezmięrzonych NM jest użytecznym kryterium oceny zdolności techniki optycznej do odwzorowania dolin, stromych zboczy i obszarów o niekorzystnych właściwościach refleksyjnych.
- Ujednolicone przetwarzanie, archiwizacja i analiza danych są warunkiem wiarygodnego porównywania wyników pochodzących z wielu technik, barw światła, materiałów i procesów technologicznych.
- Opracowana metodyka, baza danych i zalecenia techniczne tworzą podstawę do wdrażania bardziej powtarzalnych procedur pomiarowych oraz dalszej automatyzacji doboru strategii pomiaru.

Realizacja projektu pozwoliła połączyć pomiary referencyjne, wielowariantowe pomiary optyczne i zaawansowaną analizę danych w jednolitym podejściu metodycznym. Uzyskane rezultaty wspierają rozwój wiarygodnej metrologii bezstykowej oraz mogą zostać wykorzystane do opracowania procedur przemysłowych, materiałów szkoleniowych i dalszych propozycji normalizacyjnych dotyczących oceny topografii powierzchni.

