

Udział Głównego Urzędu Miar w europejskim projekcie badawczym EMPIR w dziedzinie siły

Participation of the Central Office of Measures in the European research project EMPIR in the field of force

Janusz D. Fidelus (Główny Urząd Miar)

W artykule przedstawiono założenia i szczegółowe cele projektu oraz aktualny stan wiedzy i możliwości uzyskania postępu w zapewnieniu spójności pomiarowej w europejskim i światowym przemyśle w zakresie siły statycznej, ciągłej i dynamicznej. Omówiono także zakres uczestnictwa GUM oraz potencjalny wpływ założonych w projekcie przedsięwzięć na środowisko, metrologię i użytkowników. Przedstawiono wzorce GUM o najmniejszej niepewności pomiarowej, na których zostaną wykonane badania siły statycznej i ciągłej.

The article presents the assumptions and detailed objectives of the project as well as the current state of the art and the possibilities of achieving progress in ensuring traceability in European and global industry in the field of static, continuous and dynamic force. The scope of GUM participation and the potential impact of the design assumptions on the environment, metrology and users were also discussed. GUM standards with the lowest measurement uncertainty, on which static and continuous force tests will be performed, are presented.

Słowa kluczowe: siła, łańcuch spójności pomiarowej, projekt EMPIR

Keywords: force, metrological traceability chain, EMPIR project

Wstęp

Konkurencyjne na arenie międzynarodowej, zaawansowane technologicznie produkty, używane w takich sektorach, jak motoryzacja i opieka zdrowotna, wykorzystują bardzo wydajne materiały zawierające m.in. włókna węglowe, stal o wysokiej wytrzymałości oraz beton. W celu miarodajnego pomiaru ich wydajności pod względem bezpieczeństwa i użytkowania ekologicznego, przemysł europejski potrzebuje ulepszonej infrastruktury naukowej, obejmującej szeroką gamę różnych rodzajów konstrukcji.

Obecnie wzorcowanie maszyn wytrzymałościowych (wszelkiego typu, również tych zmęczeniowych) odbywa się tylko w trybie statycznym, które nie uwzględnia wpływu czasu i częstotliwości, a spójność pomiarowa nie jest zapewniona, poza wzorcowaniem statycznym. Stosowane tu pojęcie czasu odnosi się do czasu wzrostu obciążenia przy pomiarze ciągłym, tzn. kiedy obciążenie rośnie lub maleje liniowo (bądź nieliniowo) wraz z jego upływem. Charakter tych zmian nie jest stricte dynamiczny, wyrażony bardziej w sekundach niż ułamkach sekund, jak w przypadku obciążeń dynamicznych. Częstotliwość natomiast oznacza okres cyklicznej zmiany obciążenia,

tzn. kiedy wykonywane są badania zmęczeniowe z określoną częstotliwością, to zmiana obciążenia jest zazwyczaj dość szybka (dynamiczna).

We wrześniu 2019 roku, w ramach Europejskiego Programu na rzecz Innowacji i Badań w dziedzinie Metrologii (EMPIR), rozpoczął się trzyletni Wspólny Projekt Badawczy (JRP nr 18SIB08) zatytułowany „Kompleksowa spójność pomiarowa dla usług metrologicznych w dziedzinie siły” (Comprehensive traceability for force metrology services) o akronimie ComTraForce [1]. Laboratorium Masy, Pracownia Siły i Twardości GUM uczestniczy w tym projekcie jako jeden z 13 partnerów międzynarodowego konsorcjum (krajowe instytucje metrologiczne oraz uczelnie).

W ramach projektu opracowane zostaną metody i urządzenia zapewniające spójność pomiarową z SI przy przekazywaniu siły statycznej, ciągłej i dynamicznej w zakresie od 1 N do 1 MN.

Zgodnie z wymogami przemysłu 4.0 oprogramowanie urządzeń do pomiaru siły będzie udoskonalane i opisywane za pomocą rozszerzonych modeli teoretycznych. Oprogramowanie to może być następnie zaimplementowane w procedurach wzorcowania maszyn.

Dane wyjściowe z projektu zostaną udostępnione jednostkom metrologicznym, takim jak akredytowane laboratoria wzorcujące, dla ich przetworników siły i maszyn wytrzymałościowych, zarówno w zakresie kontroli jakości, jak i w celach naukowych.

Przemysł 4.0 – tzw. czwarta rewolucja przemysłowa, to koncepcja zaproponowana po raz pierwszy w Niemczech w 2011 roku, określająca zmiany społeczne, przemysłowe i technologiczne wywołane cyfrową transformacją przemysłu [2]. Koncepcja ta odnosi się do wzajemnego wykorzystywania automatyzacji, przetwarzania i wymiany danych oraz technik wytwórczych, w celu urzeczywistnienia powstania inteligentnej fabryki, w której systemy cyber-fizyczne sterują procesami fizycznymi i podejmują zdecentralizowane decyzje, a poprzez **Internet rzeczy**, w czasie rzeczywistym komunikują się i współpracują ze sobą oraz z ludźmi.

Internet rzeczy – IIoT (Industrial Internet of Things), system informatyczny, w którym przedmioty, wyposażone w specjalne czujniki, komunikują się oraz wymieniają dane z komputerami oraz innymi urządzeniami. Proces ten odbywa się za pomocą różnorodnych rozwiązań sieciowych, w szczególności bezprzewodowych [3].

Zapotrzebowanie na usługi metrologiczne w dziedzinie siły

W celu rozpatrzenia możliwie dużej liczby zastosowań pomiaru siły i opracowania odpowiednich metod wzorcowań, konieczny jest dokładny przegląd aktualnego stanu techniki w tych zastosowaniach w zakresie dostępnych maszyn, urządzeń pomiarowych i obowiązujących aktualnie norm. Niezbędne jest również opracowanie mapy drogowej dotyczącej przyszłych wymagań dla ulepszonych wzorców przenoszenia siły i powiązanych metod wzorcowania maszyn wytrzymałościowych, uwzględniających realistyczne niepewności, których algorytmy również muszą zostać opracowane.

W nowoczesnej produkcji, aby sprostać wymaganiom przemysłu 4.0 i fabryki przyszłości, potrzebne są wirtualne narzędzia (uwzględniające źródła niepewności), które można bezpośrednio wdrożyć w procedurach wzorcowania i maszynach wytrzymałościowych. W celu lepszego zrozumienia złożonych zagadnień metrologicznych w urządzeniach do pomiaru siły należy zbadać ich zachowanie w czasie i wybranych zakresach częstotliwości, a następnie przedstawić je za pomocą odpowiednich modeli opisujących pomiar sił ciągłych i dynamicznych (konieczne jest zbadanie m.in. jak bardzo wskazanie siłomierza zależy od czasu i częstotliwości zmiany obciążenia, tzn. jak szybko lub/i jak często zmienia się obciążenie, co prawdopodobnie umożliwi opracowanie modeli tych zachowań (zależności) dla sił ciągłych

i dynamicznych). Modele te przyczynią się do powstania *cyfrowego bliźniaka*, który jest cyfrową repliką rzeczywistych urządzeń do pomiaru siły.

Wcześniejsze projekty EMRP SIB63 (Siła) i IND09 (Dynamika) koncentrowały się głównie na badaniach dużych sił i na podstawowych badaniach sił dynamicznych (wzorcowanie maszyn wytrzymałościowych), nie uwzględniając jednak potrzeby ich praktycznych zastosowań i zapewnienia spójności pomiarowej dla pomiaru siły ciągłej i dynamicznej. W przypadku sił ciągłych należy opracować procedurę wzorcowania maszyn testujących, w celu rozszerzenia łańcucha spójności pomiarowej z sił statycznych na siły ciągłe. Natomiast w przypadku sił dynamicznych wymagane jest opracowanie procedury wzorcowania, w celu zapewnienia łańcucha spójności pomiarowej w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 1000 Hz. Na potrzeby laboratoriów wzorcujących niezbędne są odpowiednie, zwalidowane doświadczalnie, metody i wytyczne, które mogą być stosowane do wzorcowania siły ciągłej oraz dynamicznej. Aktualnie brak jest jakichkolwiek dostępnych metod w tym zakresie.

Cyfrowy bliźniak to zamodelowanie w przestrzeni wirtualnej danego obiektu z jego wszystkimi użytecznymi cechami statycznymi i dynamicznymi. Rozwiązanie to pomaga naśladować zachowanie zjawisk inżynierskich, takich jak np. proces pomiaru siły.

Cele projektu

Ogólnym celem projektu jest świadczenie usług wzorcowania w dziedzinie badań mechanicznych i materiałowych, przy użyciu metod i wytycznych niezbędnych do zapewnienia kompleksowej spójności pomiarowej w pomiarach siły statycznej, ciągłej i dynamicznej. Szczegółowe cele projektu obejmują [1]:

- przegląd wszystkich rodzajów maszyn wzorcujących do badań mechanicznych i materiałowych oraz metod wzorcowania siły i ich spójności pomiarowej z wzorcami państwowymi, a także opracowanie mapy drogowej dla nowych, rozszerzonych metod wzorcowania i innowacyjnych wzorców przenoszenia siły z uwzględnieniem metody wzorcowania zarówno siły statycznej, jak i ciągłej oraz dynamicznej;
- opracowanie zaawansowanych modeli, które dokładnie opisują wpływ różnorodnych czynników fizycznych i mechanicznych w urządzeniach do pomiaru siły, w tym opracowanie cyfrowych bliźniaków urządzeń do pomiaru siły, zgodnie z przyszłymi wymogami dotyczącymi cyfryzacji i przemysłu 4.0, z niepewnością docelową względną 1% w zakresie do 100 Hz oraz 2% w zakresie od 100 Hz do 1000 Hz;

- opracowanie spójności pomiarowej w dziedzinie siły dla usług metrologicznych poprzez wdrożenie nowych, ulepszonych metod pomiarowych, uwzględniających wzorcowania siły statycznej, ciągłej i dynamicznej, od wartości 1 N do 1 MN w zakresie częstotliwości do 1000 Hz;
- opracowanie wytycznych dotyczących wzorcowania siły maszyn wytrzymałościowych, z uwzględnieniem ciągłych i dynamicznych przyłożeń siły oraz pasywnych oddziaływań pochodzących od sił wieloskładnikowych i efektów termicznych. Ponadto cele projektu obejmują opracowanie strategii oferowania usług wzorcowania z istniejących obiektów, z wprowadzonymi najnowszymi udoskonaleniami do krajów, w których znajdują się te urządzenia i krajów sąsiadujących;
- wdrożenie technologii i infrastruktury pomiarowej, opracowanej w ramach projektu, poprzez jednostki świadczące usługi pomiarowe (np. krajowe instytucje metrologiczne, laboratoria akredytowane), organizacje opracowujące normy (np. ISO, ASTM) i użytkowników końcowych (np. producenci maszyn wytrzymałościowych).

Przegląd maszyn i wzorców

Szeroka gama różnych maszyn wytrzymałościowych jest wykorzystywana we wszystkich obszarach technologii, badań i systemów kontroli jakości. Ze względu na różne zastosowania techniczne, takie jak inżynieria medyczna, inżynieria lądowa, przemysł lotniczy lub technologia offshore, istniejące maszyny wytrzymałościowe posiadają szeroki zakres różnych koncepcji generowania siły, wprowadzania siły oraz systemów pomiaru przyłożonej siły.

Niejednokrotnie urządzenia do testowania materiałów wykazują bardzo niskie zużycie mechaniczne, dlatego też, mimo kilkudziesięciu lat pracy, są one nadal w użyciu. Ponadto wymiary maszyn są dość zróżnicowane – od niewielkich egzemplarzy używanych w dziedzinie bioinżynierii, mierzących siły w zakresie mN, do ogromnych maszyn wykorzystywanych w inżynierii lądowej, które (w Europie) są w stanie mierzyć siły do 100 MN.

Aktualnie brak jest również bazy wiedzy na temat wymagań dotyczących spójności pomiarowej dla wzorcowania siły dynamicznej w maszynach z różnymi indywidualnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi. Jednym z pierwszych zadań realizowanego projektu jest przegląd metod pomiarowych, technologii i procedur stosowanych obecnie w metrologii siły. Zaowocuje to kompleksowym opisem istniejącej infrastruktury wzorcowania siły, obejmującej zarówno wzorce fizyczne, jak i dokumentacyjne. W wyniku dokonanego przeglądu urządzeń badawczych

i ich szczegółowej analizy zidentyfikowane zostaną obszary zastosowań pomiaru siły w przemyśle, które nie spełniają w pełni potrzeb związanych z obecnymi wymaganiami. Potrzeby te zostaną uwzględnione przy opracowywaniu mapy drogowej i planowaniu najlepszego sposobu sprostania im w przyszłości.

Technologia offshore – technologia wykorzystująca inteligentne urządzenia i ich zespoły w gospodarce zasobów morza oraz terenów przybrzeżnych. Przemysł offshore (działalność gospodarcza oferująca rozwiązania produkcyjne) wykorzystuje powyższe technologie w celu wydobycia surowców (głównie energetycznych – ropy naftowej i gazu ziemnego) oraz zajmuje się pozyskiwaniem energii odnawialnej na morzu [4, 5].

Modelowanie i rozwój cyfrowych bliźniaków dla urządzeń do pomiaru siły

Cyfryzacja jest ważnym zagadnieniem przemysłu 4.0 jutra. Cyfryzacja procesów danych będzie miała duży wpływ na badania materiałowe oraz pomiar siły i momentu siły. Obecnie systemy identyfikacji cyfrowej zostały już wdrożone w najnowszej generacji urządzeniach do pomiaru siły. Jednakże nie zostało jeszcze określone ich wykorzystanie oraz wciąż brakuje teorii dotyczącej cyfrowego bliźniaka.

Realizacja projektu wykroczy poza obecny stan techniki dzięki opracowaniu cyfrowego bliźniaka, który określi moc wyjściową urządzenia do pomiaru siły w funkcji skoku siły. Będzie również możliwe szczegółowe zbadanie natychmiastowej reakcji materiału na działanie obciążenia poprzez odpowiednie zmiany odczytów zarejestrowanych przez czujniki.

Spójność pomiarowa dla siły statycznej, ciągłej i dynamicznej

Wzorcowanie siły w maszynach do testowania materiałów jest obecnie przeprowadzane zgodnie z normą ISO 7500-1, która uwzględnia tylko statyczną kalibrację osiową urządzenia. W przypadku stosowania siły ciągłej lub dynamicznej, która jest wymagana w wielu dziedzinach badań materiałów, niezbędna jest odpowiednia procedura wzorcowania. Niestety, obecnie brak jest dostępnych europejskich norm i zaleceń dotyczących takich pomiarów. Ponadto nie ma dostępnych wartości CMC (zdolności w zakresie wzorcowania i pomiarów) dla sił niestacyjnych. Dlatego też brak spójności pomiarowej we wszystkich zastosowaniach związanych z wykorzystaniem sił ciągłych i dynamicznych jest wciąż nierozwiązanym problemem dla użytkowników wspomnianych wyżej usług metrologicznych. Wcześniejszy projekt EMIB

SIB63 koncentrował się głównie na pomiarach dużych sił. Chociaż zagadnienie to zostało znacznie udoskonalone, to nie wszystkie spośród wielu różnorodnych typów maszyn do testowania materiałów mogły być wzięte pod uwagę. W poprzednim projekcie EM09 INDR 09, związanym z badaniami dynamicznymi, koncentrowano się głównie na spójności pomiarowej z NMI (Krajowa Instytucja Metrologiczna). Problem związany z pomiarem siły dynamicznej w wielu różnych maszynach do testowania materiałów pozostawiono jako pytanie otwarte.

Obecny projekt przyczyni się do poprawienia spójności pomiarowej siły poprzez wdrożenie nowych, sprawdzonych i spójnych pomiarowo metod wzorcowania maszyn do testowania materiałów i stanowisk testowych. Oprócz zagadnienia dotyczącego sił statycznych opracowana zostanie spójność pomiarowa dla metod i procedur dotyczących sił ciągłych oraz dynamicznych. Dodatkowo zbadane zostaną efekty wieloskładnikowego pomiaru siły dla wpływów osiowych, wartości naprężenia zginającego, powiązanego procentu zginania, przyczepności i aparatury oraz wpływu temperatury. Badania te zostaną uwzględnione w istniejących opracowaniach opisanych jako „Siła” i „Dynamika” w mapach drogowych EURAMET-u dla Komitetu Technicznego ds. Masy i Wielkości Związanych (TC-M).

Zalecenia i wytyczne

Obecnie wzorcowanie wszystkich rodzajów urządzeń do testowania materiałów odbywa się zgodnie z normą ISO 7500-1. Norma ta koncentruje się jedynie na procedurach wzorcowania parametrów sił statycznych maszyn wytrzymałościowych i nie uwzględnia wpływu efektów dynamicznych. W ramach projektu opracowane zostaną wytyczne dotyczące lepszego rozpowszechnienia jednostki siły, ze szczególnym uwzględnieniem dziedziny badań materiałowych. Wytyczne te zostaną opracowane dla co najmniej dwóch rodzajów wzorcowania: siły ciągłej i siły dynamicznej.

Wpływ na środowisko przemysłowe i innych użytkowników

Wytyczne, opracowane w ramach tego projektu, zostaną udostępnione laboratoriom wzorcującym. Oczekuje się, że laboratoria te będą wówczas mogły świadczyć usługi dla użytkowników końcowych wzorcowania siły ciągłej i dynamicznej poprzez spójność pomiarową z SI. Stworzenie łańcucha spójności pomiarowej dla siły ciągłej i dynamicznej zapewni dostęp do udoskonalonych metod wzorcowania krajowym i akredytowanym laboratoriom w Europie oraz zagwarantuje spójność pomiarową.

PTB, krajowa instytucja metrologiczna w Niemczech, wprowadzi do swoich usług wzorcowania dwa łańcuchy spójności pomiarowej – dla wzorcowania siły ciągłej i dynamicznej. Przyniesie to korzyści przedsiębiorstwom przemysłowym zainteresowanym nowymi technologiami materiałowymi, takimi jak przemysł lotniczy i inżynieria lądowa, a także energia odnawialna, które korzystają z powyższych usług wzorcowania. Odbędzie się to natychmiast poprzez zaangażowanie zainteresowanych branż i laboratoriów w Komitet Interesariuszy. Informacje na temat usług wzorcowania siły będą rozpowszechniane w Europie za pośrednictwem instytucji akredytowanych, laboratoriów wzorcujących lub za pośrednictwem Komitetu Ekspertów ds. Siły (w Niemczech w Deutsche Kalibrierdienst DKD).

Aby ułatwić wykorzystanie wyników projektu, podjęte zostaną działania mające na celu znaczące zintensyfikowanie zaangażowania w projekt zainteresowanych interesariuszy wywodzących się z przemysłu. Chodzi tu o producentów przyrządów do pomiaru siły oraz maszyn do testowania materiałów i stanowisk testowych, a także użytkowników końcowych i laboratoriów wzorcujących. Umożliwi to wzrost zaufania użytkowników do wydajności produktów przemysłowych i zapewni konkurencyjność na arenie międzynarodowej. Powołany zostanie również Komitet Interesariuszy, aby zapewnić zgodność projektu z potrzebami przemysłowymi. Ponadto odbędą się warsztaty, w celu podzielenia się wynikami projektu i współpracy z docelowymi społecznościami użytkowników.

Wpływ na metrologię i środowiska naukowe

Jednym z rezultatów projektu będzie przegląd wszystkich obowiązujących w metrologii siły norm na świecie, urządzeń pomiarowych i maszyn do testowania materiałów, a także opracowanie wspólnej, powiązanej bazy danych, która będzie dostępna na stronie internetowej projektu jako raport i mapa drogowa. Wyniki będą wspierać przemysł w dziedzinie urządzeń do testowania materiałów, w celu wdrożenia metrologicznego łańcucha spójności pomiarowej dla sił ciągłych i dynamicznych, zawierającego bliźniacze oprogramowanie cyfrowe dla rozwiązań cyfrowego przemysłu 4.0.

W przypadku usług metrologicznych opracowane zostaną nowe metody wzorcowania i wytyczne dotyczące wzorcowania siły ciągłej i dynamicznej, spójne z SI. W oparciu o opracowane metody, instytucje metrologiczne mogą rozszerzyć swoje możliwości pomiarowe (CMC) od siły statycznej do ciągłej i dynamicznej, a laboratoria wzorcujące mogą uzyskać akredytację dla wzorcowania siły ciągłej i dynamicznej. Opracowane zostaną dwa zestawy wytycznych: jeden dotyczący wzorcowania sił

ciągłych w maszynach wytrzymałościowych, a drugi – wzorcowania sił dynamicznych. Oba podejścia wezmą pod uwagę pasożytniczy wpływ sił wieloskładnikowych oraz wpływ temperatury. Wytyczne te zostaną przesłane do Komitetu Technicznego ds. Masy i Wielkości Związanych europejskiej organizacji metrologicznej EURAMET, w celu opublikowania ich jako przewodnika dotyczącego wzorcowania siły dynamicznej. Wyniki prac badawczych zostaną również opublikowane w czasopiśmie naukowych oraz zaprezentowane na konferencjach międzynarodowych.

Oddziaływanie na normy

W pierwszym roku trwania projektu zostanie sporządzona mapa drogowa, zawierająca ogólnoswiatową analizę wszystkich istniejących istotnych światowych norm, które należy uwzględnić przy opracowywaniu nowych norm dla wzorcowania siły ciągłej i dynamicznej. Najistotniejsze międzynarodowe komitety normalizacyjne i techniczne, takie jak międzynarodowa organizacja normalizacyjna ISO oraz inne komitety również zostaną poinformowane o wynikach projektu. Opracowane zostaną nowe metody i wytyczne dotyczące wzorcowania siły ciągłej, które będą najbardziej istotne dla normy ISO TC164/SC1 „Badanie mechaniczne – Badanie jednoosiowe” oraz wzorcowania siły dynamicznej – najbardziej istotne dla normy ISO TC164/SC4 „Badania zmęczeniowe”. Z uwagi na fakt, że wielu partnerów projektu jest zaangażowanych w prace tych komitetów, zostaną wzięte pod uwagę informacje zwrotne, które będą uwzględnione przy opracowywaniu nowych metod.

Długoterminowe skutki gospodarcze, społeczne i środowiskowe

Dzięki wprowadzeniu identyfikowalnych i zharmonizowanych metod oraz procedur potrzebnych do wzorcowania maszyn wytrzymałościowych i stanowisk testowych z uwzględnieniem zarówno sił ciągłych, jak

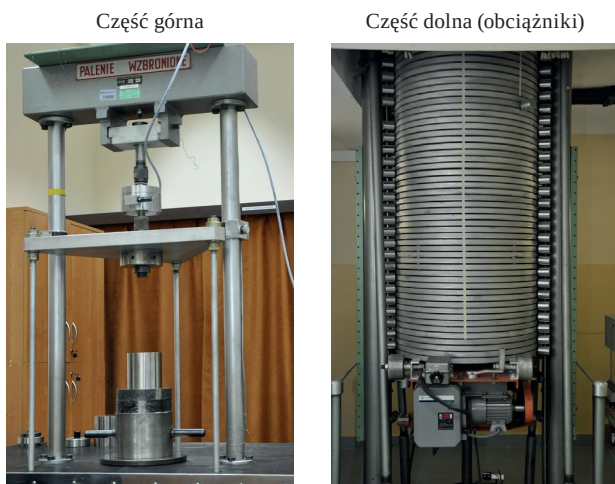
i dynamicznych, projekt przyniesie korzyści ekonomiczne wszystkim przyszłym rynkom, zajmującym się metrologią siły, testowaniem materiałów i testami mechanicznymi. Poprzez zastosowanie tych nowych metod wyniki testów będą bardziej porównywalne. Nieznane rzeczywiste niepewności dla sił ciągłych i dynamicznych zostaną określone ilościowo, co spowoduje znaczne zmniejszenie znanej niepewności w porównaniu z obecnie zakładanymi. W odniesieniu do przemysłu 4.0 i Internetu Rzeczy, w ramach tego projektu, po raz pierwszy opracowany zostanie cyfrowy bliźniak urządzeń do pomiaru siły. Wszystkie wyniki testów, w szerokim zakresie zastosowań przemysłowych, będą wykazywały się spójnością pomiarową przy konkurencyjnych niskich niepewnościach. W rezultacie materiałoznawstwo otrzyma lepsze i niezawodne narzędzia do opracowywania materiałów przyszłości oraz do zagwarantowania im kontroli jakości.

Udział GUM w projekcie

Pracownia Siły i Twardości GUM bierze udział w realizacji zadań pakietu roboczego WP3 dotyczącego spójności pomiarowej dla siły statycznej i ciągłej. Celem tego pakietu roboczego jest opracowanie łańcucha spójności pomiarowej w pomiarach siły statycznej i ciągłej dla usług metrologii w dziedzinie badań materiałów oraz innych urządzeń do badań mechanicznych. Obecnie dostępny łańcuch spójności pomiarowej obejmuje jedynie badanie układów jednoosiowych sił statycznych, przyłożonych idealnie, działających w stałej temperaturze, do testowania próbek, które reagują w czysto osiowo-symetryczny sposób. Jednak w praktyce, w systemach pomiarowych występują dodatkowe oddziaływania, wynikające z przyczyny krótkotrwałego pełzania, histerezy, temperatury, synchronizacji danych, oprzyrządowania, wyrównania i przyłożenia siły nieosiowej. Pracownia Siły i Twardości przeprowadzi badania siły statycznej i ciągłej, wykorzystując urządzenia GUM o najmniejszej niepewności pomiarowej. Spośród wielu wzorców siły (tab. 1) badania zostaną przeprowadzone m.in. na wzorcu pierwotnym jednostki siły

Tab. 1. Maszyny Wzorcowe Siły (FSM – Force Standard Machine) do wzorcowania przetworników siły

Nazwa urządzenia	Zakres pomiarowy	Niepewność pomiaru	Klasa urządzenia	Producent	Typ urządzenia
FSM nr S01	10 N – 500 N	0,006 %	00	Politechnika Warszawska (WUT)	obciążnikowe
FSM nr S02	100 N – 5 kN	0,006 %		WUT	obciążnikowe
FSM nr S03	1 kN – 55 kN	0,01 %		WUT	obciążnikowe
FSM nr S04	10 kN – 500 kN	0,006 %		W. & T. Avery LTD, UK	obciążnikowe
wtórne FSM nr S05	50 kN – 3 MN	0,05 %	1	MFL Prüf- und Merystem GmbH Mohr	hydrauliczne



Rys. 1. Maszyna obciążnikowa stanowiska wzorcowego siły do 55 kN

(rys. 1) oraz zmodernizowanych wzorcach odniesienia twardości Rockwella, przygotowanych do pracy w sieci zgodnie z ideą Przemysłu 4.0 (rys. 2).

Nowoczesne stanowiska GUM do wzorcowania wzorców twardości Rockwella I rzędu w zakresie skal A, B, C, D, E, F, G, H, K oraz N i T

We współpracy GUM z firmą MERICORE opracowano koncepcję automatyzacji i modernizacji stanowiska pomiarowego, służącego do wzorcowania wzorców twardości Rockwella I rzędu w zakresie skal A, B, C, D, E, F, G, H, K oraz stanowiska wzorca odniesienia GUM jednostki miary twardości Rockwella dla skal N i T, zgodnie z normą PN-EN ISO 6508-3. W ramach procesu modernizacji wykonano nowy system sterowania dla stacji, pompę hydrauliczną, system pomiaru przemieszczenia oraz aplikację umożliwiającą operatorowi obsługę stacji pomiarowej (rys. 2).

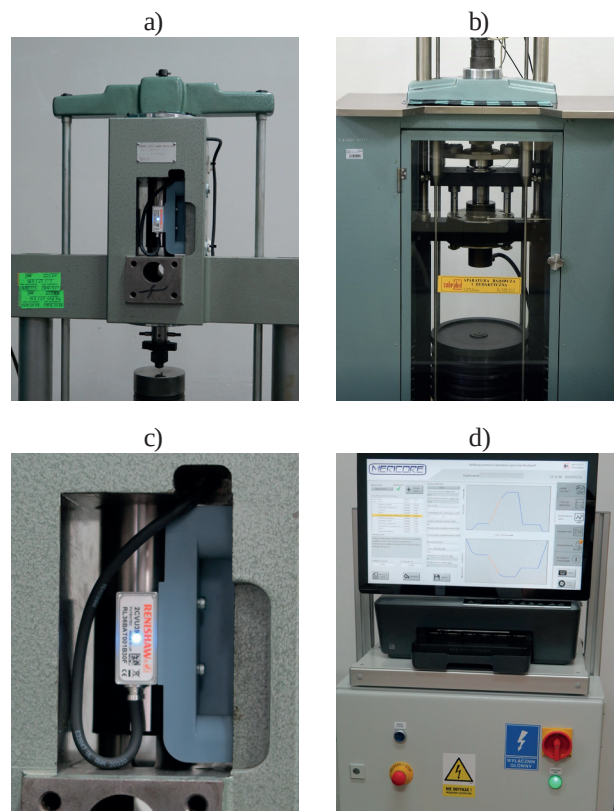
Kontroler stacji został zbudowany zgodnie ze standardami przemysłowymi i laboratoryjnymi. Zastosowanie komputera przemysłowego, systemu wysp rozproszonych do akwizycji sygnałów z czujników, komunikacja LAN z poszczególnymi systemami wykonawczymi systemu oraz 22-calowy monitor z ekranem dotykowym tworzy niezwykle wydajną i wygodną w użyciu całość.

Pompa hydrauliczna wykorzystuje elektrycznie sterowany siłownik do sterowania położeniem tłoka z rozdzielczością mikrometra. Pozwala to kontrolować ruch nakładania się pojedynczych obciążeń niespotykany na komercyjnych stacjach roboczych. Z uwagi na fakt, że zmodernizowane stacje pochodzą z lat siedemdziesiątych, konieczne było zastąpienie pierwotnych czujników systemów mechanicznych. Końce styków i przełączniki zostały zastąpione indukcyjnymi czujnikami zbliżeniowymi,

które dzięki braku ruchomych części i styków zapewniają bezawaryjną pracę nawet w przypadku zanieczyszczenia lub zalania olejem.

Przemieszczenie głębokości jest mierzone za pomocą systemu RESOLUTE firmy Renishaw, który składa się z enkodera optycznego (głowicy) i wagi taśmowej ze stali nierdzewnej, z grawerowanym laserowo kodem bezwzględnym. Zastosowany system ma rozdzielczość pomiaru 1 nm i błąd pomiaru 3,5 μm na metr długości skali. Podczas pomiaru przesunięć 200 μm błąd skali jest pomijalny. Głowica ma własną elektronikę, która kontroluje optoelektronikę odczytu, ale także monitoruje, czy ustawienie osi optycznej na skali jest prawidłowe. Jeśli zostanie wykryte jakiegokolwiek odchylenie, system pomiarowy wysyła informację do aplikacji sterującej, że powierzchnie odczytu muszą zostać wyregulowane lub oczyszczone. Powyższe rozwiązanie, w połączeniu z cyfrową transmisją odczytu sprawia, że system jest wyjątkowo odporny na zakłócenia i błędy.

Oprogramowanie do kontroli miejsca pracy zostało opracowane od podstaw w środowisku LabVIEW, które jest dedykowane do tworzenia aplikacji w aplikacjach laboratoryjnych i przemysłowych. W szczególności jest



Rys. 2. Wzorec odniesienia twardości Rockwella: a) część górną, b) część dolną, c) system RESOLUTE firmy Renishaw do pomiaru głębokości, d) komputer z dedykowanym oprogramowaniem (aplikacja sterująca i do diagnostyki urządzenia napisana w LabVIEW) do analizy i archiwizacji danych. Zainstalowany program komputerowy umożliwia dodatkowo wizualizację przebiegu cyklu pomiarowego.

Tab. 2. Dane projektu 18SIB08 ComTraForce

   <p>The EMPIR initiative is co-funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the EMPIR Participating States</p>	
Początek i czas realizacji projektu	1 września 2019, 36 miesięcy
Koordynator: Dr. Rolf Kumme, PTB Tel: +49 531 592 1200 E-mail: rolf.kumme@ptb.de Adres strony internetowej: https://www.ptb.de/empir2019/comtraforce/project/overview/	
KONSORCJUM	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Niemcy 2. Centro Español de Metrología (CEM), Tres Cantos, Madryt, Hiszpania 3. Český Metrologický Institut (CMI), Brno, Czechy 4. Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM), Torino, Włochy 5. National Physical Laboratory (NPL), Teddington, Middlesex, Wielka Brytania 6. Research Institutes of Sweden AB (RISE), Borås, Szwecja 7. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Arastirma Kurumu (TUBITAK), Ankara, Turcja 8. Teknologian tutkimuskeskus (VTT), Espoo, Finlandia 9. Cranfield University (CU), Cranfield, Bedfordshire, Wielka Brytania 10. Stuttgart University (USTUTT), Stuttgart, Niemcy 11. Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG), Ljubljana, Słowenia 12. Central Office of Measures (GUM), Warszawa, Polska 13. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), Rio de Janeiro, Brazylia 	

ono poświęcone pracy systemów pomiarowych ze względu na zaimplementowane funkcje działania sprzętu oraz możliwości analizy i archiwizacji danych.

Aplikacja sterująca pozwala nie tylko przeprowadzić pomiar, ale także zawiera moduł diagnostyczny urządzenia. Dzięki temu użytkownik może łatwo sprawdzić poprawność działania poszczególnych systemów. Ponadto aplikacja uniemożliwi włączenie stacji lub wykonanie pomiaru, jeśli stwierdzi, że którykolwiek z systemów nie działa poprawnie lub zwróci wartości poza przyjętymi limitami kontrolnymi.

Każda stacja ma własną bazę danych, w której przechowywane są wszystkie dane złożonych zamówień oraz wyniki przeprowadzonych testów. Dla wygody użytkowników baza danych jest dostępna za pośrednictwem specjalnie utworzonego programu w LabVIEW, za pomocą przeglądarki internetowej. Umożliwia to wprowadzanie i modyfikowanie danych z dowolnego komputera w tej samej sieci.

Zgodnie z wymogami norm bezpieczeństwa sterownik został wyposażony w certyfikowany sterownik bezpieczeństwa i przycisk zatrzymania awaryjnego, dzięki któremu użytkownik może w dowolnym momencie zatrzymać pracę pompy hydraulicznej, chroniąc siebie lub swoje urządzenia. Wznowienie stacji roboczej jest możliwe dopiero po odpowiedniej procedurze ponownego uruchomienia systemu bezpieczeństwa [6].

Najważniejsze dane dotyczące projektu 18SIB08 ComTraForce przedstawiono w tab. 2.

Podsumowanie

Każdego roku społeczeństwa i rządy oczekują wzrostu gospodarczego. Jednak zasoby są ograniczone. Aby rozwijać przyszłe gospodarki, minimalizując jednocześnie ich negatywny wpływ na środowisko, ważne jest, aby Europa „budowała więcej, wykorzystując mniej”. Wymaga to zastosowania nowych, ulepszonych materiałów. Opracowanie nowych, wysoce wydajnych materiałów miało już korzystny wpływ na środowisko, jednakże testy materiałowe wymagają zapewnienia lepszej spójności pomiarowej.

Projekt przemysłowy EMPIR 18SIB08 ComTraForce, w którym uczestniczy Pracownia Siły i Twardości Głównego Urzędu Miar, odnosi się do rosnącego zapotrzebowania na zapewnienie spójności pomiarowej w europejskim i światowym przemyśle w zakresie siły statycznej, ciągłej i dynamicznej, m.in. w budownictwie, badaniu wytrzymałości materiałów, instalacjach elektrowni wiatrowych, przemyśle morskim, lotniczym i kosmicznym. Głównym celem projektu jest świadczenie usług wzorcowania w dziedzinie badań mechanicznych i materiałowych, przy użyciu metod i wytycznych niezbędnych do zapewnienia kompleksowej spójności pomiarowej

w pomiarach siły statycznej, ciągłej i dynamicznej. Odpowiada on również na wymogi nowoczesnej produkcji i związanych z nią wymogów przemysłu 4.0 i fabryki przyszłości. Pracownia Siły i Twardości GUM dysponuje odpowiednim sprzętem o najmniejszej niepewności pomiarowej, m.in. wzorcami pierwotnymi jednostki siły oraz w pełni zautomatyzowanymi wzorcami odniesienia twardości Rockwella.

Literatura

- [1] Strona projektu: Comprehensive traceability for force metrology services. 18SIB08 ComTraForce <https://www.ptb.de/empir2019/comtraforce/project/overview/>
- [2] Schwab K., The Fourth Industrial Revolution, 2016 <https://luminariaz.files.wordpress.com/2017/11/the-fourth-industrial-revolution-2016-21.pdf>
- [3] Mąćik R., Internet rzeczy – postrzegane przez młodych konsumentów korzyści i zagrożenia – wyniki badań wstępnych. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, 2016, t. 17, z. 4, cz. 3, s. 11-27.
- [4] Czapliński P., Przemysł offshore w Polsce – próba definicji, stan i możliwości rozwoju. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 2015, 29(4), 103–111.

- [5] Wilczyński L., Technologie offshore i portowo-logistyczne. Materiały konferencyjne, Gdańsk, 2015 r. <https://docplayer.pl/6159883-Technologie-offshore-i-portowo-logistyczne.html>
- [6] Kożuchowski M., Dokumentacja techniczna twardościomierzy Rockwella w GUM – grudzień 2019, MERICORE.

Prace modernizacyjne twardościomierzy sfinansowane ze środków na realizację zadań inwestycyjnych przez GUM w 2019 r. (umowa nr BDG-WZP.261.60.2019 oraz BDG-WZP.261.63.2019).

Praca wykonana w ramach projektu EMPIR JRC 18SIB08 „Comprehensive traceability for force metrology services”, ComTraForce na lata 2019–2022.

Acknowledgements

This work has been carried out in the framework of the EMPIR Joint Research Project 18SIB08 ‘Force’ with the title „Comprehensive traceability for force metrology services”, ComTraForce for 2019–2022.

The EMPIR is jointly funded by the EMPIR participating countries within EURAMET and the European Union.