



Nowe możliwości badawcze i badawczo-rozwojowe Laboratorium Pomiarów Długości i Kąta IZTW

New research and development capabilities of Length and Angle Measurement Laboratory of the IAMT

TATIANA MILLER
ANETA ŁĘTOCHA
KRZYSZTOF GAJDA
JANUSZ FRAN CZAK
JACEK GOGÓL*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.448

Przedstawiono zakres prac realizowanych w akredytowanym Laboratorium Pomiarów Długości i Kąta oraz Zakładzie Metrologii Wielkości Geometrycznych Instytutu Zaawansowanych Technologii Wytwarzania (IZTW), obejmujących wykonywanie szerokiego spektrum badań i pomiarów. Scharakteryzowano możliwości posiadanego wyposażenia badawczego. Zaprezentowano działania prowadzone przez doświadczony zespół specjalistów IZTW, takie jak: opracowywanie z wykorzystaniem najnowszych osiągnięć światowej techniki konstrukcji nowoczesnych systemów pomiarowych (zarówno prostych, jak i złożonych) oraz stanowisk badawczych, modernizacja różnych urządzeń pomiarowych, w tym zwłaszcza maszyn współrzędnościowych.

SŁOWA KLUCZOWE: akredytowane laboratoria badawcze, zaawansowane systemy pomiarowe, specyfikacja geometrii wyrobów, chropowatość, kształt, topografia powierzchni, maszyny współrzędnościowe

Scope of work implemented in accredited laboratory of Length and Angle Measurements and Department of Geometrical Quantities Metrology of the Institute of Advanced Manufacturing Technology (IAMT) was presented, including performing research and measurements in a wide spectrum of applications. Abilities of owned research equipment were characterised. Scope of work realised on the basis of knowledge of experienced team was presented, such as development of different – both simple and complex – constructions, advanced measurement systems and research positions – with use the latest achievements of worldwide technic, modernization of different measurement devices including especially coordinate measuring machines.

KEYWORDS: *accredited research laboratories, advanced measurement systems, geometrical product specification, roughness, form, surface topography, coordinate measuring machines*

Zakres prac laboratorium IZTW jest dostosowany do aktualnych potrzeb rynku oraz światowych i europejskich tendencji w obszarze badań ukierunkowanych na rozwój technologii wytwarzania. Dlatego obecnie prowadzone są badania naukowe i prace rozwojowe dotyczące:

- metrologii wielkości geometrycznych,
- metod pomiarowych dla mikro- i nanotechnologii,
- metod i systemów zapewnienia jakości w technologiach wytwarzania,
- modernizacji maszyn i urządzeń pomiarowych,
- projektowania i wykonania specjalnych maszyn i urządzeń pomiarowo-kontrolnych oraz specjalnej aparatury badawczej,
- ekspertyz technicznych maszyn oraz urządzeń pomiarowych.

Wymienione badania i prace, a także inne usługi oferowane przez IZTW wynikają przede wszystkim z zapotrzebowania przemysłu. Istotne znaczenie mają działania na rzecz zapewnienia jakości, gdyż tego wymaga niestanny postęp technologiczny. Ważne z punktu widzenia gospodarki są również badania prowadzone przez akredytowane laboratoria badawcze IZTW świadczące usługi dla przedsiębiorstw, które od 1998 r. posiada akredytację nr AB 197 Polskiego Centrum Akredytacji na zgodność z wymaganiami PN-EN ISO/IEC 17025:2005. Laboratorium ma wieloletnie doświadczenie w pomiarach wielkości geometrycznych oraz pomiarach i analizie topografii powierzchni. W skład laboratorium wchodzi sekcja L3 zajmująca się pomiarami długości i kąta, w której dużą część badań jest związana z topografią warstwy wierzchniej.

Posiadane kompetencje, doświadczenie i wyposażenie pozwalają IZTW na realizację wielu złożonych zadań pomiarowych, a także na konstruowanie i wykonywanie różnych, często unikalnych stanowisk badawczych, wykorzystujących innowacyjne rozwiązania.

Pomiary są prowadzone z użyciem aparatury pomiarowej zapewniającej spójność pomiarową poprzez zastosowanie wzorców wzorcowanych przez laboratorium Głównego Urzędu Miar lub Obwodowego Urzędu Miar w Jaśle, według akredytowanych przez PCA procedur badawczych. Dla każdego pomiaru wyznaczana jest niepewność pomiaru według normy PKN-ISO/TS 14253-2:2009.

* Mgr inż. Tatiana Miller (tatiana.miller@ios.krakow.pl), mgr inż. Aneta Łętocha (aneta.letocha@ios.krakow.pl), inż. Krzysztof Gajda (krzysztof.gajda@ios.krakow.pl), mgr inż. Janusz Franczak (janusz.franczak@ios.krakow.pl), mgr inż. Jacek Gogól (jacek.gogol@ios.krakow.pl) – Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania

Projekt badawczy

Obecnie w Zakładzie Metrologii Wielkości Geometrycznych IZTW realizowany jest projekt pt. „Badania i ocena wiarygodności nowoczesnych metod pomiaru topografii powierzchni w skali mikro i nano” (“Research and evaluation of reliability of modern methods of surface topography measurements in micro and nano scale”). W ramach tego projektu współpracuje osiem jednostek naukowych, a mianowicie: trzy jednostki w konsorcjum projektu i pięć uczelni uczestniczących w badaniach realizujących różne zadania badawcze. Główne cele projektu to: oszacowanie różnic w wynikach pomiarów topografii powierzchni w grupach przyrządów stykowych i bezstykowych oraz próba znalezienia i zdefiniowania źródeł powstawania tych różnic. Pozwoli to określić wiarygodność pomiarów wykonywanych różnymi przyrządami i metodami – zarówno w praktyce przemysłowej, jak i w badaniach naukowych – oraz wskazać optymalny dobór metod do różnych zastosowań. Wybrane przykłady powierzchni badanych w ramach projektu przedstawiono na rys. 1.

Odpowiedni poziom wiarygodności danych pomiarowych uzyskiwanych podczas pomiarów struktury geometrycznej powierzchni jest niezbędny do weryfikacji hipotez podczas badań naukowych, a w przemyśle – do podejmowania

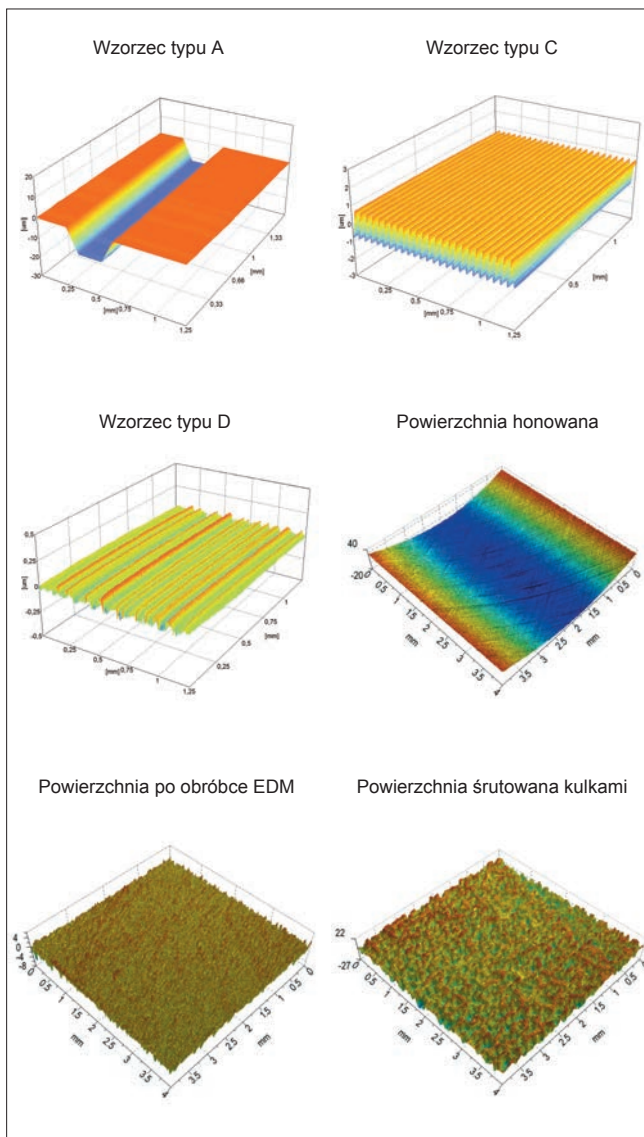
decyzji dotyczących sterowania jakością wyrobów i procesów wytwarzania. Na podstawie realizowanego w projekcie kompleksowego programu badań, obejmującego profilometry stykowe i bezstykowe, zostaną określone różnice w uzyskiwanych wynikach pomiarów. Prowadzona jest analiza przyczyn tych różnic. Projekt obejmuje złożony program badań w zakresie: pomiarów profilu pierwotnego i chropowatości, wyznaczania parametrów chropowatości powierzchni oraz wpływu filtracji na poszczególne etapy przetwarzania sygnału pomiarowego na ostateczne wyniki obliczeń.

Wiedza uzyskana w wyniku realizacji projektu pozwoli na dobór najbardziej wiarygodnych metod i urządzeń pomiarowych do różnych rodzajów powierzchni w skali mikro i nano. Badane przyrządy są poddawane również analizom porównawczym oprogramowania z wykorzystaniem wzorców programowych zamodelowanych w ramach projektu. Raport z wynikami badań zostanie opublikowany w formie użytecznej dla systemów zarządzania jakością, ze wskazaniem na optymalny dobór metod do konkretnych zastosowań oraz z określeniem wiarygodności pomiarów wykonywanych różnymi przyrządami [6].

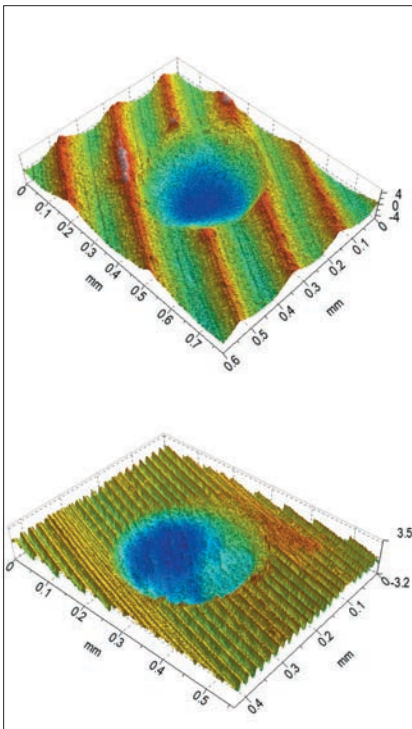
Na potrzeby projektu został zakupiony wielosensorowy przyrząd do bezstykowego pomiaru struktury geometrycznej powierzchni AltiSurf 520 wraz z potrzebnym wyposażeniem i oprogramowaniem.

Laboratorium

IZTW dysponuje bardzo dobrze wyposażonym laboratorium badań specyfikacji geometrii wyrobów (GPS). Nowoczesne systemy pomiarowe – optyczne i stykowe – pozwalają na wykonywanie pomiarów geometrii wyrobów oraz wszystkich parametrów niezbędnych do oceny struktury geometrycznej powierzchni 2D i 3D, w tym mikrogeometrii. Szeroki zakres pomiarowy oraz innowacyjność tych rozwiązań wynikają m.in. z możliwości podłączania do używanych systemów pomiarowych różnych czujników. Dzięki temu można prowadzić kompleksowe badania metrologiczne. Wykorzystywane oprogramowanie (autorski program IZTW o nazwie Topografia oraz program Altimap firmy Digital Surf) zapewnia pełną analizę topografii zmierzonej powierzchni i zarysów: chropowatości, falistości, prostoliniowości i kształtu – zarówno dla pojedynczych przekrojów, jak i pomiarów przestrzennych 3D. Oprogramowanie zawiera elementy wyznaczające parametry chropowatości, które są określone w najnowszych normach (w tym ISO 25178-2:2012), w tym parametry z zakresu analizy stereometrycznej 3D, inne parametry (nieznormalizowane), a także najbardziej rozpowszechnione funkcje i charakterystyczne krzywe oraz statystykę parametrów. W programach są również dostępne nowe algorytmy filtracji (opracowane na podstawie norm z grupy ISO 16610), służące do doboru optymalnych parametrów przetwarzania danych wejściowych w zależności od charakterystyk i rodzajów obróbki mierzonej powierzchni. Są to filtry: Gaussa z korekcją fazy, *spline*, morfologiczne, odporne Gaussa. Programy umożliwiają ponadto wymiarowanie zarysów profilu oraz zawierają funkcje wymiarowania geometrii i mikrogeometrii złożonych kształtów dla wszystkich wykonywanych pomiarów. Pozwalają na wymiarowanie odległości, kątów, promieni małych wycinków okręgów (z opcją wyznaczenia odchyłki od promienia), prostoliniowości i geometrii skomplikowanych mikroształtów, a także na obliczanie pola oraz objętości pod i nad profilem na wybranych odcinkach lub obszarach.



Rys. 1. Wybrane przykłady powierzchni badanych w ramach projektu



Rys. 2. Przykłady pomiaru objętości wgłębienia

Na rys. 2 przedstawiono przykłady pomiaru objętości wgłębienia będącego wynikiem Impact Testu przeprowadzonego dla różnych parametrów obróbki i różnych materiałów.

Co ważne, wspomniane oprogramowanie umożliwia wymianę danych z innym, dostępnym na rynku oprogramowaniem (wbudowany eksport punktów profilu i parametrów do formatów *txt*, *xls*, *csv*).

Posiadane przez IZTW systemy pomiarowe pozwalają na zaawansowane analizy jakości badanych powierzchni, a rozbudowany zakres przetwarzanych danych umożliwia obliczanie wielu różnych parametrów oraz wyznaczanie charakterystyk, a tym samym – na powiązanie wyznaczonych parametrów opisujących badane powierzchnie z ich właściwościami użytkowymi. Na tej podstawie można m.in.:

- ocenić wpływ parametrów technologicznych procesu obróbki na własności tribologiczne powierzchni podczas jej eksploatacji,
- ocenić naciski powierzchniowe w kontakcie oraz jakość smarowania,
- oszacować rzeczywistą powierzchnię kontaktu współpracujących elementów,
- dokonać analizy tarcia, zużycia i odkształceń elementów w eksploatacji,
- kontrolować geometrię narzędzi w procesach wytwarzania oraz oceniać ich zużycie w trakcie eksploatacji (dotyczy to także mikronarzędzi).

Omawiane pomiary i analizy stosuje się również w odniesieniu do powierzchni poddawanych procesom chemicznym, a także w wielu dziedzinach niezwiązanych bezpośrednio z budową maszyn – np. w naukach medycznych i bioinżynierii (w badaniach powierzchni kości, zębów, endoprotez, podłoży do hodowli komórek itp.), biologii czy elektronice. Metody pomiarów wykorzystywane w laboratorium IZTW są odpowiednie do różnych rodzajów powierzchni, w tym drewna, gumy i papieru. Wyposażenie laboratorium pozwala na wykonywanie badań dotyczących makro-, mikro- i nanotechnologii wytwarzania, a zwłaszcza na pomiary parametrów struktury geometrycznej powierzchni w zakresie poniżej $1\ \mu\text{m}$ i z rozdzielczością rzędu nanometrów.

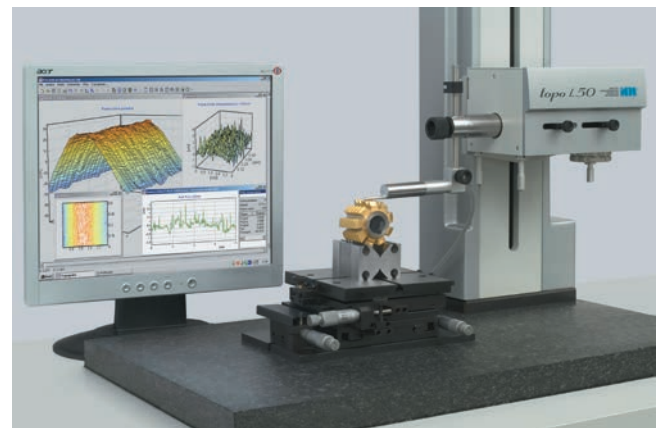
Systemy TOPO 01 i TOPO 02

Systemy TOPO 01 (rys. 3) i TOPO 02 (rys. 4), konfigurowane jako profilometry i kształtografy (w zależności od potrzeb), zostały opracowane i wykonane w IZTW. Te stacjonarne urządzenia o wysokiej dokładności i szerokim zakresie pomiarowym, przeznaczone do pomiarów chropowatości i kształtu powierzchni metodą profilowania stykowego [1, 2], wdrożono w wielu ośrodkach naukowych.

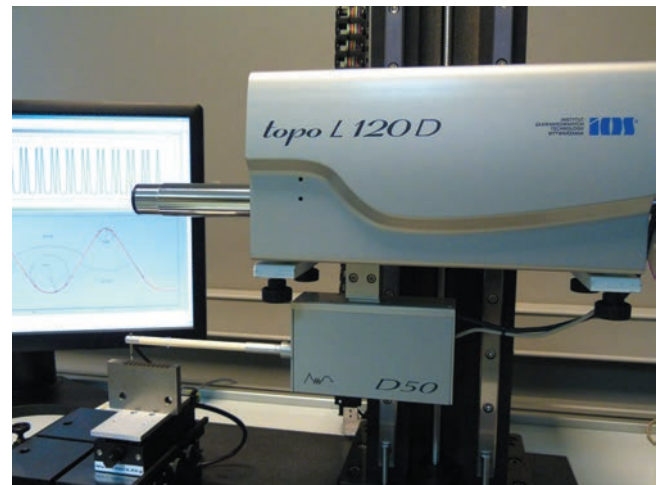
Główce do badań chropowatości oparte na przetworniku indukcyjnym umożliwiają wykonywanie pomiarów w zakresie pionowym do 1 mm i z rozdzielczością $0,01\ \mu\text{m}$. Ze względu na różnorodność kształtów i często skomplikowaną geometrię badanych wyrobów szerokie zastosowanie znajduje głowica o zakresie 2 mm, przeznaczona zwłaszcza do pomiarów chropowatości w zagłębieniach i rowkach oraz do pomiarów mikroształtów. Wymienne końcówki tej głowicy pozwalają na różnorodne pomiary i ułatwiają badanie zarysów małych elementów. Pomiary kształtu wykonywane są głowicą cyfrową o zakresie pionowym 50 mm i rozdzielczości $0,1\ \mu\text{m}$.

Głowica do pomiaru kształtu również ma opcję wymiany ramion pomiarowych. Najczęściej stosowane są ostrza w kształcie stożka i łopatki. Dzięki zastosowaniu dodatkowych cyfrowych głowic pomiarowych, zamocowanych na zespole napędowym, system jest w stanie zrealizować różnorodne zadania pomiarowe.

Oba systemy są wyposażone w autorski program Topografia, opracowany w IZTW.



Rys. 3. System TOPO 01 jako profilometr 3D

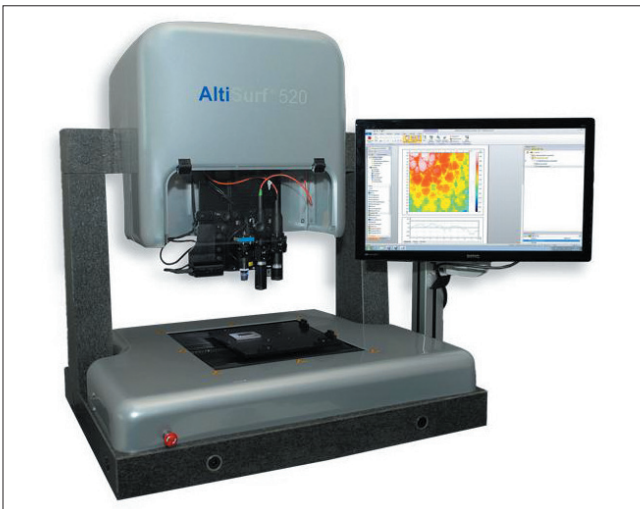


Rys. 4. System TOPO 02 jako kształtograf 3D

System AltiSurf 520

System pomiarowy AltiSurf 520 firmy Altimet (rys. 5) to profesjonalny przyrząd do pomiarów metodami profilowania optycznego, tj. metodą konfokalną lub interferometryczną, oraz profilowania stykowo-optycznego (przez zastosowanie specjalnego czujnika mikrosił o bardzo małym nacisku pomiarowym). Moduł optyczny stanowi światło białe uzyskiwane z lampy halogenowej. Czujniki konfokalne chromatyczne pozwalają na pomiary w zakresie: do 140 μm z rozdzielczością pionową 8 nm, do 400 μm z rozdzielczością pionową 20 nm (topografia powierzchni) oraz do 1 mm z rozdzielczością 40 nm (pomiary kształtu).

AltiSurf 520 nadaje się praktycznie do pomiarów powierzchni dowolnego rodzaju, w tym zwłaszcza do badań próbek wykonanych z miękkich lub sprężystych materiałów. Czujnik interferometryczny umożliwia pomiary powierzchni o bardzo dużej dokładności wykonania, wręcz lustrzanych, charakteryzujących się bardzo małą chropowatością i małą odchyłką płaskości. Czujnik mikrosił pracujący w zakresie do 100 μm lub do 400 μm (w zależności od zastosowanego czujnika konfokalnego) znajduje zastosowanie w przypadku, gdy badana powierzchnia nie może zostać uszkodzona (zdarza się to podczas badań standardową metodą stykową). W każdej metodzie pomiar odbywa się poprzez ruch stolika pod nieruchomym czujnikiem. System jest wyposażony w program Altimap z serii Mountains Map firmy Digital Surf.



Rys. 5. Multisensorowy system AltiSurf 520

Współrzędnościowe maszyny pomiarowe

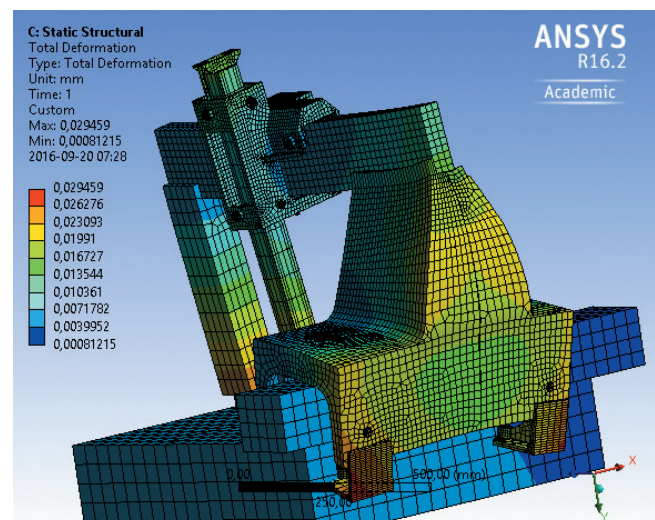
W Zakładzie Metrologii Wielkości Geometrycznych IZTW od wielu lat trwają badania i prace konstrukcyjne związane z maszynami pomiarowymi. Obecnie prowadzone są m.in. badania dotyczące wpływu temperatury i problemów z kompensacją temperatury [3–5]. Badania te obejmują zarówno algorytmy kompensacji temperatury, jak i określenia minimalnej zalecanej liczby czujników wraz ze strategią ich optymalnego rozmieszczenia na maszynie w celu osiągnięcia wymaganej dokładności pomiaru.

Podstawowymi parametrami definiowanymi w systemie kompensacji termicznej są współczynniki rozszerzalności termicznej (CTE) osi maszyny i mierzonego przedmiotu. Od prawidłowego oszacowania tych parametrów zależy poprawna praca systemu (w skrajnych przypadkach błędne oszacowanie tych wielkości może prowadzić do rezultatów gorszych niż uzyskane bez systemu kompensacji

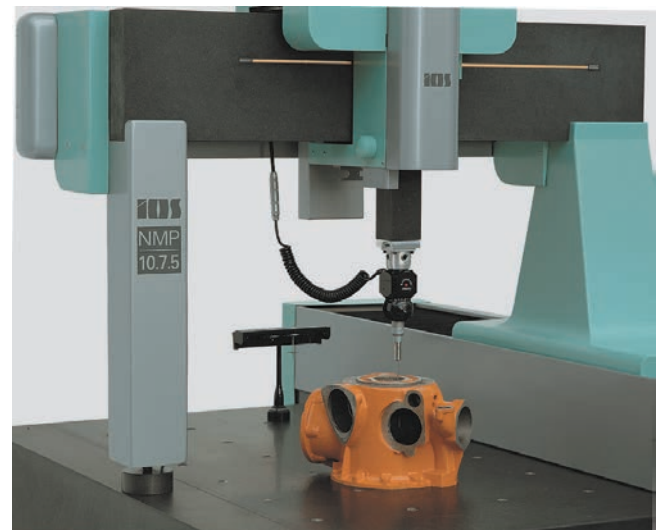
termicznej). Z uwagi na możliwość stosowania systemu w bardzo różnorodnych konstrukcjach maszyn pomiarowych producenci sterowników używanych do kompensacji podają tylko ogólne zalecenia dotyczące doboru omawianych współczynników. Zależą one m.in. od sposobu zamocowania liniału oraz materiału, na którym zainstalowano liniał. Ponadto podawane przez producentów wartości współczynników rozszerzalności termicznej zazwyczaj są orientacyjne i wahają się w pewnym zakresie. Z tego względu IZTW prowadzi badania mające na celu weryfikację tych współczynników dla maszyn oraz opracowanie wytycznych w tym zakresie. Na potrzeby określenia odkształceń konstrukcji maszyny spowodowanych zmianami temperatury opracowano specjalny model (rys. 6), na którym przedstawiono graficzne deformacje maszyny spowodowane wpływem temperatury. Zweryfikowano też prawidłowość budowy tego modelu.

Na bazie wieloletnich doświadczeń i badań w Zakładzie Metrologii Wielkości Geometrycznych IZTW wykonywane są także trójkoordynatowe maszyny pomiarowe. Obecnie IZTW oferuje maszyny pomiarowe z serii Linea – automatyczne (z napędem) i ręczne. Maszyny automatyczne są dostępne w trzech wariantach:

- Linea 5.5.4C o zakresie pomiarowym 500 (X) \times 500 (Y) \times 400 (Z) mm;



Rys. 6. Odkształcenia maszyny wywołane zmianami temperatury określone w programie Ansys



Rys. 7. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa Linea 10.7.5

- Linea 10.7.5 o zakresie pomiarowym 700 (X) × 1000 (Y) × 500 (Z) mm (rys. 7);
- Linea 16.10.7 o zakresie pomiarowym 1000 (X) × 1600 (Y) × 700 (Z) mm.

Maszyny ręczne występują w jednym wariantcie: Linea 5.5.4M o zakresie pomiarowym 500 (X) × 500 (Y) × 400 (Z) mm.

Niepewność pomiaru (w μm) w przestrzeni maszyn pomiarowych IZTW jest określona wzorem: $3,5 + L/200$ (gdzie L podaje się w mm).

IZTW zajmuje się również modernizacją maszyn pomiarowych zakupionych przez klientów. Polega ona na wymianie uszkodzonych elementów mechanicznych, modernizacji układu sterowania, regulacji geometrii maszyny oraz instalacji nowoczesnego sprzętu komputerowego i oprogramowania. Na życzenie użytkowników w modernizowanych maszynach wprowadzana jest kompensacja temperaturowa oraz instalowane są czujniki temperatury. W celu poprawy parametrów metrologicznych przeprowadzana jest procedura pomiaru błędów w przestrzeni i tworzona jest mapa błędów. W zależności od potrzeb klientów IZTW oferuje różnorodny, nowoczesny osprzęt do maszyn pomiarowych, np. sondy pomiarowe, magazynki narzędzi oraz szeroki asortyment trzpieni.

Specjalne stanowiska badawcze

Zakład Metrologii Wielkości Geometrycznych IZTW współpracuje z innymi instytutami badawczymi i uczelniami, dla których opracował i wykonał specjalistyczne stanowiska badawcze na potrzeby prowadzonych przez te jednostki projektów z dziedziny ochrony zdrowia i ochrony środowiska. Te w pełni zautomatyzowane, autorskie stanowiska, opracowane i wykonane przez IZTW, realizują różne cykle badawcze. IZTW wykonuje ponadto specjalne oprzyrządowanie, pozwalające na rozszerzenie możliwości badawczych urządzeń stosowanych przez różne laboratoria.

Część badań jest realizowana dzięki finansowaniu w ramach projektu nr PBS2/A6/20/2013/NCBiR/24/10/2013 pt. „Badania i ocena niezawodności nowoczesnych metod pomiarów topografii powierzchni w skali mikro i nano” („Research and evaluation of reliability of modern methods of surface topography measurements in micro and nano scale”).

LITERATURA

1. Miller T., Gajda K., Łętocha A. „Zakres zastosowania i możliwości pomiarowe modułowego systemu TOPO 02 do pomiaru i analizy topografii powierzchni”. *Mechanik*. Nr 5–6 (2014): s. 424–427.
2. Miller T., Gajda K., Łętocha A. „Zalety stosowania modułowych systemów do pomiaru i analizy struktury geometrycznej powierzchni w przemysłowej kontroli jakości”. XV Krajowa i VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Łódź-Uniejów 17-19.09.2014 r. „Metrologia w Technikach Wytwarzania”. Politechnika Łódzka, 2014: s. 239–248 (*Mechanik*. Nr 8–9 (2014), CD: s. 597).
3. Gogól J. „Zagadnienia termiczne w obrabiarkach i współrzędnościowych maszynach pomiarowych – różnice i podobieństwa”. *Mechanik*. Nr 11 (2014): s. 892–895.
4. Gogól J. „Analiza zjawisk termicznych we współrzędnościowych maszynach pomiarowych z użyciem systemów CAD”. *Mechanik*. Nr 12 (2015): s. 950–953.
5. Gogól J., Franczak J. „Analiza termiczna szczeliny powietrznej między powierzchnią roboczą prowadnicy aerostaticznej i roboczą powierzchnią prowadzącą”. *Mechanik*. Nr 5–6 (2016): s. 558–559.
6. Adamczak S., Miller T., Świdorski J., Wieczorowski M., Majchrowski R., Łętocha A. „Założenia do oceny wiarygodności pomiarów topografii powierzchni w różnych skalach”. *Mechanik*. Nr 3 (2015), CD: s. 191 (DOI:<http://dx.doi.org/10.17814/Mechanik,2015.3.120>).