

Metrologiczne podejście do doboru narzędzia pomiarowego

Olga Iwasińska-Kowalska

Politechnika Warszawska, Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej

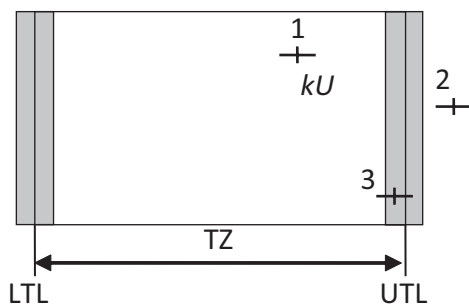
Streszczenie: W artykule zaprezentowano informacje dotyczące sposobu doboru narzędzia pomiarowego ze względu na wymagania związane z dokładnością pomiaru. Pod uwagę brane były też właściwości metody pomiarowej, cechy mierzonego elementu, wymagania techniczne i inne. Podejście zaprezentowano na przykładzie wyznaczenia wymiaru promienia elementu mechanicznego.

Słowa kluczowe: pomiar konturu, profil, wyznaczenie niepewności pomiaru

DOI: 10.14313/PAR_213/97

1. Wprowadzenie

Każdy pomiar ma na celu ustalenie wartości wielkości mierzonej. Wartość ta podawana musi być z niepewnością [1, 2]. Obie liczby: wynik i niepewność jego wyznaczenia są wyrażone w jednostce przyjętego układu. Wyznaczenie ich wykonuje się najczęściej w celu sprawdzenia czy mierzona cecha obiektu jest zgodna z założoną wartością nominalną. Wartość nominalna jest podawana wraz z przedziałem tolerancji. Jeśli wynik pomiaru zawiera się w przedziale tolerancji zgodność cechy z wymaganiem zostaje potwierdzona. Sprawdzenie zgodności wymaga doboru odpowiedniej metody pomiaru. Na jej dobór wpływa wiele czynników, z których podstawowe to: rodzaj wielkości i zakres wielkości mierzonej, wymagana niepewność pomiaru, wymagania techniczne, formalne i ekonomiczne. W artykule



Rys. 1. Przedział tolerancji TZ z przykładowymi realizacjami wyników pomiaru

Fig. 1. Tolerance zone TZ with sample measurement results

zaprezentowana jest analiza wymienionych kryteriów, na przykładzie wyznaczenia wymiaru promienia zaokrąglenia krawędzi w elemencie z proszków spiekanych.

2. Wielkość mierzona

Wielkość mierzona jest cechą fizyczną związaną z obiektem. W omawianym przykładzie jest nią promień zaokrąglenia krawędzi o wartości nominalnej 0,3 mm i symetrycznej tolerancji $\pm 0,025$ mm.

3. Zakres pomiarowy

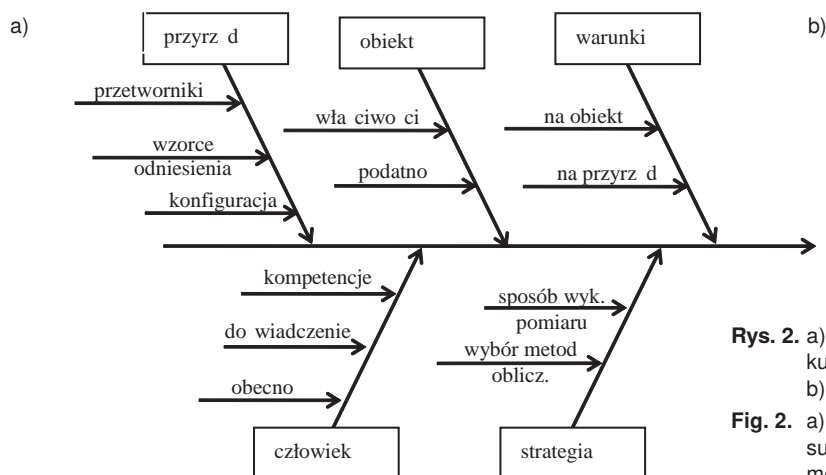
Zakres pomiarowy urządzenia jest przedziałem w którym może ono poprawnie mierzyć. Przykładami są zakresy: profilometru 500 μm , przyrządu do wyznaczania konturu 50 mm, mikroskopu optycznego 50 mm, maszyny współrzędnościowej 900 \times 1200 \times 700 mm [3] itd. Wszystkie wymienione przyrządy, ze względu na ich zakresy pomiarowe, pozwalają na wyznaczenie promienia zaokrąglenia krawędzi 0,3 mm.

4. Tolerancja a niepewność pomiaru

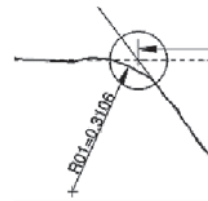
Tolerancja cechy to przedział wartości, w którym powinny znaleźć się realizacje mierzonej cechy aby obiekt można było uznać za wykonany zgodnie z wymaganiem. Przedział tolerancji decyduje o wymaganiach związanych z niepewnością pomiaru.

Typowym przypadkiem jest tolerancja dwustronna. Jest to przedział między górną UTL a dolną LTL granicą tolerancji (rys. 1). Przedział ten TZ może być symetryczny względem nominalu [4] albo znajdować się odpowiednio: poniżej odchyłki górnej UTL albo powyżej dolnej LTL.

W przypadku kiedy wartość rzeczywista cechy, zawiera się w granicach pola tolerancji (UTL, LTL), to można uznać, że element spełnia stawiane wymaganie (wynik 1 rys. 1). Wartości rzeczywiste znajdujące się poza jedną lub drugą granicą pola tolerancji (np. wynik 2) oznaczają, że element jest niezgodny z wymaganiami. Należy jednak mieć świadomość, że wartość rzeczywista nie jest znana. Pomiar pozwala jedynie na przybliżenie wartości rzeczywistej wartością zmierzoną. Precyzję tego przybliżenia opisuje się parametrem **niepewności pomiaru**. Jest ona



b)



Rys. 2. a) Diagram Ishikawy dla wybranego przypadku pomiaru wymiaru elementu mechanicznego, b) przykładowy wynik pomiaru

Fig. 2. a) Ishikawa diagram for sample dimensional measurement of a mechanical part, b) an example of measurement result

przedziałem, w którym z określonym prawdopodobieństwem zawiera się wartość rzeczywista. Przedział ten, dla wszystkich trzech wyników (1, 2 i 3), oznaczono na rys. 1 poziomymi odcinkami, a znaczniki pionowe reprezentują wartość zmierzoną, która estymuje wartość rzeczywistą. Definicja niepewności według [1, 2] przyjmuje brzmienie: **Niepewność to parametr związany z wynikiem pomiaru i charakteryzujący rozrzut wartości, który może być w uzasadniony sposób przypisany do wartości wielkości mierzonej.**

W sytuacji uzyskania wyniku pomiaru w zakresie bliskim granicy pola tolerancji, zawierającym się w przedziale równym niepewności (oznaczonym na rys. 1 szarym polem), należy się liczyć z pewnym ryzykiem błędnej decyzji. Wartość wyniku pomiaru 3 jest w granicy tolerancji, ale rzeczywista i nieznana wartość wielkości może znaleźć się w części szarego zakresu, poza granicą UTL.

W normie [5] zakres szarego pola (rys. 1) nazwano „bezdecyzyjnym”. W przypadku uzyskania wartości wyniku pomiaru w tym zakresie można powtórzyć pomiar dokładniejszą metodą albo uznać element za zgodny, ale przy większym ryzyku popełnienia niepoprawnej kwalifikacji. Jest to jednak sytuacja, której użytkownik chce uniknąć. Prawdopodobieństwo jej wystąpienia można zmniejszyć ograniczając niepewność pomiaru.

W praktyce pomiarowej przyjmuje się, że niepewność pomiaru powinna być 10 razy mniejsza niż pole tolerancji.

Taka relacja (1:10) pozwala ograniczyć ryzyko błędnego zakwalifikowania elementu do poziomu przyjętego statystycznie za dopuszczalny. Im mniejszy jest iloraz niepewności i tolerancji, tym ryzyko błędu maleje ale jednocześnie wzrasta koszt realizacji metody pomiaru.

W przypadku, kiedy wymaganie dla wartości cechy mierzonej jest podane przez tylko jedną granicę tolerancji nie można skorzystać z reguły (1:10). Przykładem tak ograniczonej cechy jest np. wytrzymałość na zerwanie (nie może być mniejsza niż dolna wartość graniczna LTL), lub wartość odchyłki kształtu (nie może być większa niż górna wartość graniczna UTL).

Dla jednostronnej granicy tolerancji należy ocenić przedział zmienności związany z mierzoną cechą. Przedział tej zmienności podzielony na 10, daje w wyniku wymaganą wartość niepewności metody pomiaru. Oznacza to, że jeżeli np. odchyłka okrągłości nie może przekraczać $2\ \mu\text{m}$ (UTL), a metoda wytwarzania nie pozwala uzyskać mniejszej odchyłki niż $0,5\ \mu\text{m}$, to przedział zmienności jest $1,5\ \mu\text{m}$. Przy wyborze metody sprawdzania tej odchyłki należy założyć, że jej niepewność pomiaru nie powinna być większa niż $0,15\ \mu\text{m}$.

W przypadku, kiedy wymagania nie można spełnić, z przyczyn technicznych lub ekonomicznych, przyjmuje się mniejszą wartość relacji (np. 1:5). W takich przypadkach wzrasta ryzyko błędnego zakwalifikowania elementu.

Przyjmując podaną zasadę 1:10, w omawianym przykładzie pomiaru promienia zaokrąglenia, niepewność jego wyznaczenia powinna być mniejsza niż $0,005\ \text{mm}$, przy przedziale tolerancji $0,05\ \text{mm}$.

4.1. Ocena źródeł niepewności

Metrolog oczekuje, że niepewność pomiaru będzie wystarczająco mała, by ocena zgodności wartości zmierzonej cechy z wartościami dopuszczalnymi była rzetelna a ryzyko błędnej kwalifikacji ograniczone. Musi więc ocenić wpływ czynników, które składają się na niepewność pomiaru. Czynnikiem tych jest zazwyczaj bardzo wiele, ale tylko niektóre wpływają w sposób znaczący. W celu zidentyfikowania czynników istotnych, konieczna jest szczegółowa analiza przebiegu pomiaru. Przydatnym do tego celu narzędziem jest diagram Ishikawy (rys. 2), na którym graficznie grupowane są czynniki wpływające na niepewność pomiaru.

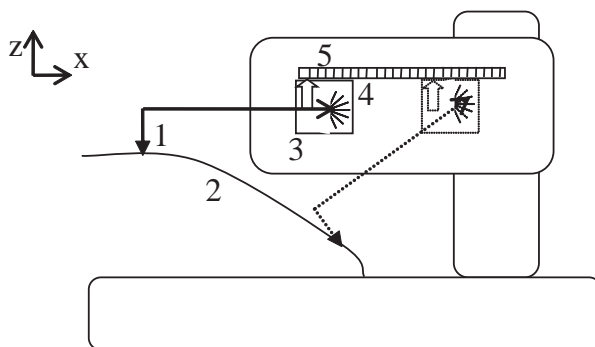
Diagram Ishikawy dla przykładowego pomiaru promienia zaokrąglenia krawędzi w elemencie układu wtryskowego przedstawiono na rys. 2. Wielkością mierzoną był promień R01 (rys. 2b) o nominalnej wartości $0,3\ \text{mm}$ i tolerancji $0,05\ \text{mm}$. Element wykonano przy użyciu technologii proszków spiekanych. Do głównych źródeł niepewności pomiaru zaliczono: czynniki związane z przyrządem pomiarowym, cechami obiektu, warunkami otoczenia, wpływem operatora, strategią pomiaru.

Tab. 1. Sposób wyznaczenia niepewności dla szczegółowych przyczyn związanych z przyrządem pomiarowym
Tab. 1. Methodology of the uncertainty estimation when factors related to measuring instruments considered

źródło	przyczyna szczegółowa	oszacowana niepewność	metoda typu	sposób wyznaczenia niepewności
przyrząd pomiarowy	przetworniki	0,30 μm	A	seria pomiarów na płycie wzorcowej
	konfiguracja			
	wzorce odniesienia	0,10 μm	B	świadczenie kalibracji
	rozdzielczość	0,01 μm	A	seria odczytów

Przyrząd pomiarowy. Pomiar promienia był możliwy do przeprowadzenia w technice współrzędnościowej przy zastosowaniu metody odwzorowującej przekroje poprzeczne. W laboratorium [3] dostępne były: profilometr, przyrząd do pomiaru konturu, współrzędnościowe maszyny pomiarowe i mikroskop optyczny. Ze względu na nominalną wartość promienia mniejszą niż 1 mm, z wymienionych, wybrano metodę profilometryczną z użyciem przyrządu do pomiaru konturu. Polegała ona na odwzorowaniu przekroju metodą skanowania profilu a następnie dopasowaniu okręgu do zmierzonych współrzędnych. Współrzędne rejestrowano podczas przemieszczania się końcówki pomiarowej 1 (rys. 3) po powierzchni mierzonej 2. Skanowanie odbywało się przez rejestrację położenia głowicy 3 na podstawie sygnału przetwornika kąтового 4. Odczyt następował co 1 μm wyznaczany na przetworniku liniowym 5.

Składowa niepewności związana z przyrządem profilometrycznym zależała od dokładności *przetworników* – przede wszystkim indukcyjnego przetwornika kąta 4 i liniowego przetwornika inkrementalnego 5. Drugim czynnikiem była *konfiguracja* głowicy pomiarowej i końcówki. Elementy te mogą mieć różną długości i dobierane są zależnie od potrzeb przez operatora. Układ trzech elementów: przetwornik, końcówka i ramię głowicy, był kalibrowany za pomocą *wzorców* w celu wyznaczenia krzywej kalibracyjnej. Krzywa służy do przeliczania przemieszczenia kąтового przetwornika na kartezjańską współrzędną Z. Niepewność związaną z wyznaczeniem krzywej kalibracyjnej oszacowano na $u_k = 0,3 \mu\text{m}$ dla całego zakresu przemieszczenia w osi Z. Zawierała się w tej wartości także niepewność przetwornika kąтового. Udział w niepewności



Rys. 3. Schemat przyrządu do pomiaru konturu
Fig. 3. Schematic diagram of contour measuring instrument

składowej wynikającej z cyfrowej rozdzielczości odczytu był $u_o = 0,01 \mu\text{m}$.

Trzecim czynnikiem są – *wzorce* do wyznaczania krzywej kalibracji. Muszą być one okresowo sprawdzane. Wzorcowanie jest niezbędne do przeniesienia jednostki miary. W czasie kalibracji przyrządu użyto płytek klasy 0, z aktualnym świadectwem wzorcowania. Niepewność związana wymiarem wzorca nie przekraczała $u_w = 0,1 \mu\text{m}$.

Dla przypadku mierzonego parametru uzyskano składową niepewności 0,32 μm .

Obiekt. Element mierzony wykonany był z proszków spiekanych, a więc jego powierzchnia była niejednorodna. Na profilu, który był wycinkiem okręgu o mierzonej promieniu R01 (rys. 2b) uwidoczniły się liczne mikronierówności. Związany z nimi składnik niepewności oszacowano na 3 μm , przez ocenę zmienności wyznaczonego promienia (2 s) dla serii 10 prób na sąsiadujących profilach.

Element był wykonany z twardego materiału, więc jego *podatność* na nacisk końcówki nie miała znaczącego wpływu i nie przekraczała 0,1 μm . Wartość tę wyliczono teoretycznie korzystając ze wzorów na ugięcia sprężyste i danych katalogowych.

Warunki. Pomiar wykonywano w warunkach pomieszczenia klimatyzowanego. Wymiar mierzony był na tyle mały, że wpływ rozszerzalności cieplnej *na obiekt* był pomijalny (mniej niż 0,001 μm). Czas pomiaru (1 min) był dostatecznie krótki by przyjąć, że zmiany temperatury nie powodowały fluktuacji wskazań *przyrządu*. Obserwując losowe zmiany wskazania w czasie wpływ tego czynnika oszacowano na mniej niż 0,1 μm . Warto jednak mieć świadomość, że przy pomiarze większych elementów (np. o długości 100 mm), w temperaturze znacznie odbiegającej od odniesienia (np. 5 K) można spodziewać się błędów związanych z rozszerzalnością cieplną nawet do kilku mikrometrów.

Człowiek. Wpływ człowieka ujawnia się wielu grupach źródeł niepewności. Został jednak wymieniony dodatkowo, ze względu na *kompetencje*, których brak może powodować nadmierne błędy wynikające np. z niedostatecznej adiustacji elementu względem kierunku przemieszczenia. Przyjęto, na podstawie przeliczenia rozdzielczości adiustacji na błąd kosinusowy wyznaczania profilu, że niepewność związana z adiustacją została ograniczona przez doświadczonego operatora do 0,1 μm . *Doświadczenie* umożliwia przeprowadzenie pomiaru sprawnie, dzięki czemu zredukowany zostaje także wpływ zmian warunków otoczenia.

W omawianym przykładzie zostało przyjęte, że *obecność* operatora powodowała drgania oraz zmiany temperatury, których wpływ na niepewność oszacowano na $0,1 \mu\text{m}$.

Strategia. Jest to sposób postępowania, który wynika ze znajomości wymagań dla sprawdzanego wymiaru, właściwości elementu, dostępnego oprzyrządowania, wiedzy i doświadczenia operatora. W omawianym

przypadku poprawny *sposób wykonania pomiaru* zawierał takie elementy jak: kierunek skanowania względem orientacji przedmiotu, prędkość skanowania, licznosc próbek, pochylenie głowicy względem przedmiotu. Ustalono, że dobór tych parametrów powodował różnice w wyznaczeniu wymiaru nieprzekraczającą $0,6 \mu\text{m}$. Po pomiarze operator miał *wyбір metod obliczeniowych* – dopasowania okręgu, np.: najmniejszej sumy kwadratów lub stycznego. Niepewność związana z tym czynnikiem oszacowana została na $0,6 \mu\text{m}$. W omawianym przypadku najbardziej znaczący był, wykonywany przez operatora, dobór długości odcinka dopasowania. W tym przypadku ujawniał się znaczący wpływ mikronierówności na wynik. Ten czynnik uwzględniono w grupie obiekt.

4.2. Sposób oszacowania niepewności

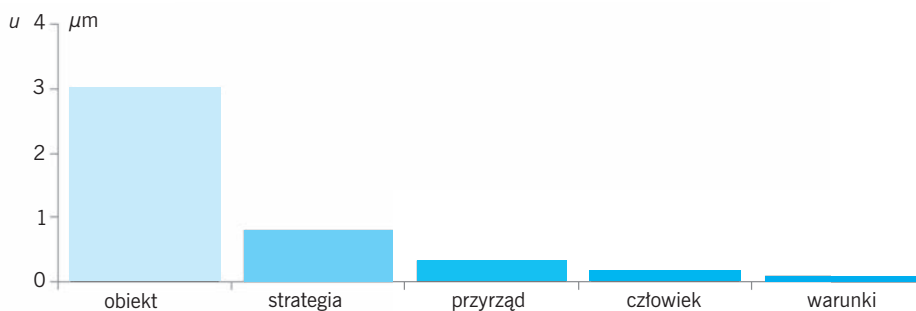
W poprzednim punkcie podano wartości przypisanej poszczególnym czynnikom niepewności. Wartości te ustalone zostały dwiema metodami A lub B [1]. Metoda typu A polega na ocenie zakresu zmienności przy wielokrotnym powtórzeniu. Zakres ten najczęściej estymowany jest odchyleniem standardowym eksperymentalnym. Rozkład wartości mierzonej cechy jest najczęściej normalny. Metoda typu B polega na skorzystaniu z innych informacji, np. z danych z wcześniej prowadzonych pomiarów, informacji producenta, wyniku sprawdzenia urządzenia, doświadczenia, źródeł naukowych, danych katalogowych itp.

Rozważymy sposób wyznaczenia niepewności poszczególnych czynników dla jednej z zestawionych w diagramie Ishikawy grupy czynników związanych z przyrządem pomiarowym. W tabeli 1 zestawiono szczegółowe źródła niepewności związane z przyrządem pomiarowym, ich oszacowanie i metodę zastosowaną do oszacowania wpływu czynnika na niepewność.

Całkowita niepewność wyznaczenia pozycji punktu w jednej osi została oszacowana przy założeniu, że funkcję opisującą wskazanie przyrządu można zapisać:

$$w = (O + pw + pk) \pm ku \quad (1)$$

przy czym w jest wskazaniem przetwornika, O – odczytem z przetworników, p_w – poprawką na długości wzorców, p_k – poprawką na błąd wynikający z odchyłki od wyznaczonej krzywej kalibracyjnej dla kąta wychylenia ramienia



Rys. 4. Zestawienie czynników wpływających na pomiar

Fig. 4. Set of factors influencing measurement

miarowego. Poprawki p_w , ze świadectwa wzorcowania płytek nie były uwzględnione w oprogramowaniu przyrządu. Przyjęto więc, że p_w i p_k nie są znane i mają wartość zero. Wyznaczono ich niepewność. Dla płytek wzorcowych klasy 0 znane są dopuszczalne odchyłki wymiaru, które są miarą niepewności związanej z długością płytki. Jeśli płytka wzorcowa o długości mniejszej niż 25 mm jest klasy 0, to tolerancja jej wymiaru będzie $0,1 \mu\text{m}$. Wielkość u jest niepewnością, z jaką oszacowano wartość zmierzoną w a k jest współczynnikiem rozszerzenia (zwykle 2). Niepewność szacowana jest przez:

$$u = \sqrt{u_o^2 + u_w^2 + u_k^2} \quad (2)$$

gdzie u_o oznacza niepewność odczytu (dyskretyzacji), u_w – niepewność poprawki na długość wzorca, u_k – niepewność poprawki dla krzywej kalibracji w punkcie. Po podstawieniu danych uzyskano wartość $0,32 \mu\text{m}$. Niepewność rozszerzona tego czynnika jest $0,63 \mu\text{m}$.

Pozostałe czynniki szacowano w podobny sposób.

4.3. Wnioski z analizy niepewności

Na podstawie zestawienia wartości składowych niepewności (rys. 4) można stwierdzić, że dominował składnik niepewności związany z obiektem, a kolejne czynniki, pod względem wielkości, wynikają z właściwości przyjętej strategii i urządzenia. Całkowita niepewność oszacowana przez pierwiastek z sumy kwadratów poszczególnych składowych jest równa $3 \mu\text{m}$. Wartość ta jest ponad 10 razy mniejsza od tolerancji wymiaru R01 (TZ = $50 \mu\text{m}$). Można więc przyjąć, że wybór przyrządu do pomiaru konturu, ze względu na warunek stosunku niepewności wyniku pomiaru do przedziału tolerancji (1:10), jest uzasadniony.

Wartość niepewności jest oszacowaniem dla metody zastosowanej w przypadku pomiaru szczególnego obiektu. W przypadku, gdyby czynnik związany z obiektem i strategią był mniejszy to ujawniłby się wpływ przyrządu. Przy pomiarze małego promienia elementu szlifowanego o jednorodnej powierzchni, jej struktura nie wpływałaby w znaczący sposób na niepewność wyniku pomiaru. Strategia zaś zależy od właściwości mierzonego elementu, więc i jej wpływ mógłby również ulec zmniejszeniu.

Pokazany na rysunku diagram (tzw. Pareto) jest ilustracją znanej zasady 80/20. Zasada ta podaje, że 20 % przy-

czyn powoduje 80 % skutków. W tym przypadku obiekt stanowi 1 z 5 czynników (20 %) i ma przeważający (blisko 80 %) udział w niepewności.

5. Inne wymagania techniczne

Kolejnym kryterium doboru przyrządu i metody pomiarowej są wymagania techniczne, niezwiązane z dokładnością czy zakresem, takie jak czas, koszt pomiaru czy dostępne wyposażenie (specjalne końcówki pomiarowe, czujniki, sondy itp).

W omawianym przykładzie promień zaokrąglenia elementu z proszków spiekanych można było wyznaczyć za pomocą mikroskopu. Wymagałoby to jednak np. wykonania odcisku detalu w specjalnej masie plastycznej lub przecięcia elementu. Przeprowadzenie badania byłoby czasochłonne ze względu na przygotowanie próbki. W sytuacji, w której pomiar stykowy byłby niedostępny, takie podejście mogłoby mieć uzasadnienie.

Do czynników technicznych zaliczyć należy także możliwość mocowania elementu. W omawianym przypadku pomiaru promienia elementu zespołu wtryskowego (o gabarytach $\varnothing 30$ i 10 mm) zastosowano imadło z zespołem adiuwacji kątowej i liniowej. W wielu jednak przypadkach zamocowanie może wpływać na wybór metody (np. profil cienkościenny odkształcająca się pod wpływem grawitacji, co wpływa na niepewność wyznaczenia jego wymiaru).

Innym czynnikiem decydującym o wyborze metody jest możliwość przenoszenia przyrządu lub jego pracy w warunkach zewnętrznych (pomiar odkształceń konstrukcji budowlanych). Kolejny czynnik to wymagana prędkość pozyskiwania danych (wyznaczanie zmiany pozycji matryc drukarskich przy druku rolowym). Powiązanymi czynnikami może być liczba danych pomiarowych i czas (np. współrzędne przestrzenne elementu uzyskane w tomografii przemysłowej lub pomiar topografii powierzchni profilometrem w sposób stykowy przez skanowanie profili) itp.

Czynnikiem ekonomicznym jest czas pomiaru, z którym wiąże się m.in. koszt pracy personelu i urządzeń.

Wybór metody może być także podyktowany kryteriami wynikającymi z przepisów prawnych lub umów i norm, których stosowanie uzgodnił zleceniodawca i wykonujący pomiary.

6. Podsumowanie

Wybór metody pomiarowej zależy od szeregu przedstawionych czynników. Metrologiczne podejście do doboru narzędzia pomiarowego polega na wybraniu takiej metody, która zapewni rzetelną ocenę wielkości mierzonej i poprawne stwierdzenie czy wartość rzeczywista znajduje się w granicach tolerancji. Wiąże się to z wnikliwą analizą czynników, które wpływają na pomiar. Są one związane z cechą mierzoną, jej wartością, właściwościami obiektu, metody i otoczenia. Ocena tych czynników wymaga znajomości całego łańcucha odtworzenia jednostki. W omówionym przykładzie były to trzy kroki: 1) przeniesienie jednostki w procesie wzorcowania płytek wzorcowych (świadectwo wzorcowania), 2) kalibracja przyrządu za pomocą płytek

wzorowy (krzywa kalibracyjna), 3) wykonanie pomiaru i analizę współrzędnych. Każdy z tych kroków miał swój udział w końcowym bilansie niepewności. Celem bilansu było sprawdzenie, czy przyrząd i metoda pomiaru może być użyta do oceny wymiaru. Warunkiem podstawowym było spełnienie założenia, że niepewność wyniku pomiaru powinna być w przybliżeniu 10 razy mniejsza niż przedział tolerancji sprawdzanej cechy.

Bibliografia

1. DOKUMENT EA-4/02. Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu.
2. International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, II wydanie 1993, International Organization for Standardization (Genewa, Szwajcaria). Wydanie polskie: Międzynarodowy słownik podstawowych i ogólnych terminów Metrologii. Główny Urząd Miar, 1996.
3. [www.pomiary.edu.pl] – Laboratorium Zaawansowanych Technik Pomiarów Geometrycznych.
4. PN-EN 22768-2:1999 Tolerancje ogólne -- Tolerancje geometryczne elementów bez indywidualnych oznaczeń tolerancji.
5. ISO 14253-1 Geometrical Product Specifications (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment — Part 1: Decision rules for proving conformance or nonconformance with specifications. ■

Metrological approach towards the selection of a measuring instrument

Abstract: Tutorial of measuring instrument selection when the demanded measurement accuracy considered has been presented. Other factors taken into account were metrological properties of a measurement method, properties of a measured object, technical requirements, etc. The recommended approach has been shown with a use of a case study referring to mechanical part radius measurement.

Keywords: contour measuring, profile, estimating measurement uncertainty

Artykuł recenzowany, nadesłany 06.02.2014 r., przyjęty do druku 02.09.2014 r.

dr inż. Olga Iwasińska-Kowalska

Adiunkt w Zakładzie Metrologii i Inżynierii Jakości na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Naukowo zajmuje się technikami pomiarów interferencyjnych długości i kąta oraz geometrii powierzchni.

e-mail: o.iwasinska@mchtr.pw.edu.pl

