

Language of geometrical product specifications – a mysterious and unknown whether second native language of each engineer?

Język specyfikacji geometrii wyrobów
– tajemniczy i nieznan czy drugi język ojczysty każdego inżyniera?

ZBIGNIEW HUMIENNY*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2020.7.14>

The role of geometrical tolerances in ensuring compliance with the functional requirements defined for a product is shown. Directions of development of graphical geometrical product specification language, which is an important element of the ISO GPS system, are presented. The indicators given in the drawing of the disc with cylindrical and cuboid holes are analysed, and the need to use of modifiers is justified. Alternative modifiers are shown. It is explained when the position tolerance specifications should be considered separately, as combined or simultaneously.

KEYWORDS: dimensioning, tolerancing, geometrical tolerances, geometrical product specifications, GPS, TC 213, ISO 1101

Wyjaśniono rolę tolerancji geometrycznych w zapewnieniu spełnienia wymagań funkcjonalnych określonych dla wyrobu. Przedstawiono kierunki rozwoju graficznego języka specyfikacji geometrii wyrobów, będącego istotnym elementem systemu ISO GPS. Przeanalizowano oznaczenia użyte na rysunku tarczy z otworami walcowymi i prostopadłościennymi oraz uzasadniono potrzebę zastosowania modyfikatorów. Pokazano alternatywne modyfikatory. Wyjaśniano, kiedy specyfikacje tolerancji pozycji należy rozpatrywać niezależnie, łącznie albo równocześnie.

SŁOWA KLUCZOWE: wymiarowanie, tolerowanie, tolerancje geometryczne, specyfikacje geometrii wyrobów, GPS, TC 213, ISO 1101

Wprowadzenie

Współcześnie w pracy inżyniera konstruktora nie wystarczy już umiejętność rysowania modeli 3D w zaawansowanych systemach CAD. Dlaczego? Model 3D pokazuje tylko geometrię nominalną wyrobu, brakuje informacji, na ile wytworzony wyrób może się różnić od modelu nominalnego i nadal spełniać wymagania funkcjonalne określone przez użytkownika. Do wymiarów można dodać odchyłki graniczne, ale tolerowanie z wykorzystaniem odchyłek granicznych (tolerowanie \pm) jest jednoznaczne (rys. 1) tylko w przypadku wymiarów liniowych i kątowych zewnętrznych lub wewnętrznych, czyli dla walców (wałków/otworów) oraz dwóch płaszczyzn równoległych przeciwnych (kostek/występów/rowków) [1, 2]. Pomiar wymaga jednoznacznego zdefiniowania menzurandu – wielkości mierzonej. Tylko zastosowanie tolerancji geome-

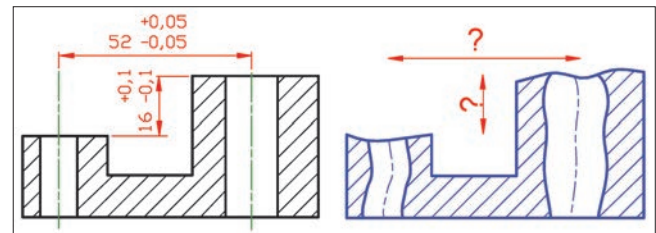


Fig. 1. Tolerancing by using limit deviations of dimensions other than internal or external is a serious error of a designer because it does not provide the possibility of univocal statement of compliance with the requirements

Rys. 1. Tolerowanie z wykorzystaniem odchyłek granicznych wymiarów innych niż wewnętrzne lub zewnętrzne jest poważnym błędem konstruktora, gdyż nie zapewnia możliwości jednoznacznego stwierdzenia zgodności z wymaganiami

trycznych, które pozwalają wskazać bazę (układ baz) oraz element tolerowany, umożliwia jednoznaczne określenie wymagań.

Tolerancje geometryczne są częścią systemu specyfikacji i weryfikacji geometrii wyrobów (systemu ISO GPS) opracowanego w Komitecie Technicznym ISO/TC 213 Specyfikacje wymiarowe i geometryczne oraz weryfikacja wyrobów [3]. W Polsce z ISO/TC 213 ściśle współpracuje Komitet Techniczny PKN/KT 48 ds. Podstaw Budowy Maszyn. Autor artykułu jest ekspertem PKN nominowanym do ISO/TC 213 oraz przewodniczącym KT 48, dlatego zaprezentuje najnowsze międzynarodowe ustalenia normalizacyjne oraz kierunki prowadzonych prac. Na system ISO GPS składa się blisko 130 norm i specyfikacji technicznych (uzupełnionych 20 zmianami i poprawkami), z których kilkanaście dotyczy tolerancji wymiarowych i geometrycznych.

Celem prac Komitetu Technicznego ISO/TC 213 jest rozwój i doskonalenie norm dotyczących specyfikacji geometrii wyrobów, reguł oceny zgodności ze specyfikacją oraz wymagań odnośnie do wyposażenia pomiarowego. Normy umożliwiają firmom:

- redukcję kosztów,
- podniesienie jakości wyrobów i skrócenie czasu dostarczenia wyrobów na rynek,
- optymalizację wykorzystania zasobów przeznaczonych na specyfikację, wytwarzanie i weryfikację,
- właściwe, skuteczne wdrażanie systemu ISO GPS, co ma decydujący wpływ na sukces na rynku krajowym i międzynarodowym.

* Dr inż. Zbigniew Humienny, zbigniew.humienny@pw.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0001-5122-0239> – Instytut Podstaw Budowy Maszyn, Politechnika Warszawska, Warszawa, Polska

Niniejszy artykuł dotyczy specyfikacji geometrii wyrobów. Pozostałe obszary normalizacji Komitetu Technicznego ISO/TC 213 wymagają oddzielnego omówienia.

Nowe, jednoznaczne metody specyfikacji geometrii wyrobów [4] są warunkiem koniecznym do skutecznej realizacji koncepcji Przemysłu 4.0, opartego na cyfryzacji przetwarzania i wymiany danych między modelem CAD 3D wyrobu, oprogramowaniem wytwórczym i pomiarowym (*digital thread*). Docelowo w ramach tradycyjnej współpracy konstruktora, technologa i metrologa – decydujących o wytworzeniu wyrobu – wiele działań realizowanych obecnie z udziałem technologa i metrologa, zostanie wyeliminowanych i zastąpionych przez przetwarzanie cyfrowe. Warunkiem koniecznym jest, aby systemy CAD, CAM i CMS (współrzędnościowe systemy pomiarowe) mogły korzystać z jednego modelu cyfrowego, zawierającego nie tylko geometrię nominalną, lecz także tolerancje geometryczne.

Aby umożliwić jednoznaczną interpretację specyfikacji przez systemy komputerowe, w ISO/TC 213 postanowiono zmienić koncepcję redagowania norm. Normy powinny ustalać reguły specyfikacji, a nie stanowić zbiór przykładów oznaczeń.

Warto przytoczyć uzasadnienie tej zmiany [5], które podał H.S. Nielsen, były przewodniczący ISO/TC 213: *Normy oparte na przykładach wydają się przyjazne dla użytkownika, ponieważ na pierwszy rzut oka wyglądają na proste i łatwe do zrozumienia. Problem polega na tym, że podane przykłady są często zbyt proste i nie uwzględniają złożoności, z jaką można się spotkać przy rzeczywistych wyrobach. Normy oparte na przykładach zmuszają użytkownika do interpolacji między przykładami i ekstrapolacji, gdy rzeczywiste potrzeby wykraczają poza nie. Normy oparte na regułach często na pierwszy rzut oka wydają się skomplikowane. Zazwyczaj potrzeba wielu reguł, a większość z nich koncentruje się na wyjątkach i szczególnych przypadkach, więc wydaje się, że norma bardziej dotyczy tych osobliwych wariantów niż tego, co przeciętny użytkownik potrzebuje na co dzień. Jednak wyraźną zaletą norm opartych na regułach jest to, że jest znacznie mniej dedukcji i nie wymagają one interpretacji; tak więc wspólne zrozumienie tego, co ustalono w normach, będzie znacznie szersze wśród praktyków, a wdrażanie norm w CAD/CAM/CMS będzie zdecydowanie bardziej jednolite.*

Obecnie zbiory reguł, które należy stosować w celu jednoznacznej specyfikacji, zawierają następujące normy ISO GPS:

- PN-EN ISO 1660:2017 GPS – Tolerancje geometryczne – Tolerancje profilu; podano 12 reguł,
- PN-EN ISO 2692:2014 GPS – Tolerancje geometryczne – Wymaganie maksimum materiału (MMR), wymaganie minimum materiału (LMR) i wymaganie wzajemności (RPR); podano 14 reguł,
- PN-EN ISO 5458:2018 GPS – Tolerancje geometryczne – Specyfikacje geometryczne szyku i łączone; podano 5 reguł,
- PN-EN ISO 5459:2011 GPS – Tolerancje geometryczne – Bazy i układy baz; podano 10 reguł.

Wymienione normy zawierają obszerne załączniki informacyjne prezentujące przykłady tolerowania z wykorzystaniem reguł zawartych w treści norm, przy czym w wielu przypadkach bezpośrednio wskazano, które reguły wykorzystano w przykładach.

W normie PN-EN ISO 8015:2012 GPS – Podstawy – Pojęcia, zasady i reguły podano 13 zasad, które mogą być zaklasyfikowane jako reguły ogólne uzupełnione regułami oznaczania operatorów specyfikacji domyślnych oraz operatorów specyfikacji specjalnych.

Nowe narzędzia specyfikacji tolerancji geometrycznych

Zdefiniowanie tolerancji geometrycznych nawet na najprostszym rysunku wymaga wykorzystania kilku norm systemu ISO GPS (rys. 2). Zgodnie z zasadą dwiistości podaną w normie PN-EN ISO 8015:2012 specyfikacja nie określa procedury pomiaru czy wyposażenia pomiarowego. Należy jednak stwierdzić, że pełny, jednoznacznie zdefiniowany operator specyfikacji jest niezbędny do skutecznego wykorzystania klasycznego wyposażenia pomiarowego oraz możliwości skomputeryzowanych systemów pomiarowych.

Poniżej przeanalizowano oznaczenia podane dla tarczy z czterema otworami walcowymi i dwoma prostopadłościennymi (rys. 2) oraz wskazano, że wykorzystanie nowych modyfikatorów znacząco zmniejsza niejednoznaczność specyfikacji w porównaniu z dotychczasowymi sposobami tolerowania. Krótko omówiono również inne nowe modyfikatory, które można zastosować alternatywnie.

Rozpoczynając analizę wymagań podanych na rysunku konstrukcyjnym, należy przede wszystkim ustalić, czy jest on sporządzony zgodnie z ustaleniami norm międzynarodowych ISO GPS, czy według normy amerykańskiej ASME Y14.5. System ISO GPS jest powszechnie stosowany w Europie i na innych kontynentach. W firmach amerykańskich oraz u ich dostawców wykorzystywana jest norma ASME Y14.5-2018 Dimensioning and tolerancing – Engineering product definition and related documentation practices. Przyjęto w niej inne ustalenia domyślne, ponadto część symboli jest inaczej interpretowana niż w normach systemu ISO GPS.

Na rys. 2 nad tabliczką rysunkową podano informację: *Tolerowanie ISO 8015*, co oznacza, że rysunek sporządzono według ustaleń systemu ISO GPS. Zgodnie z zasadą powołania sformułowaną w PN-EN ISO 8015:2012 wskazanie jakiegokolwiek normy ISO, np. PN-EN ISO 1101:2017 [6], powołuje cały system ISO GPS, jeśli w dokumentacji nie zaznaczono, że opracowano ją zgodnie z normą regionalną, krajową lub firmową.

Na rys. 2 podano dwa wymiary liniowe zewnętrzne o wartościach nominalnych $\varnothing 150$ (średnica kołnierza tarczy) i $\varnothing 80$ (średnica trzpienia tarczy) oraz jeden wymiar wewnętrzny o wartości nominalnej $\varnothing 20$ (średnice czterech otworów). Zgodnie z normami PN-EN ISO 286-1:2011 i PN-EN ISO 14405-1:2016 [7] dla każdej specyfikacji wymiaru bez jakichkolwiek modyfikatorów domyślnie wymiar należy interpretować jako dwupunktowy dla obu wymiarów granicznych.

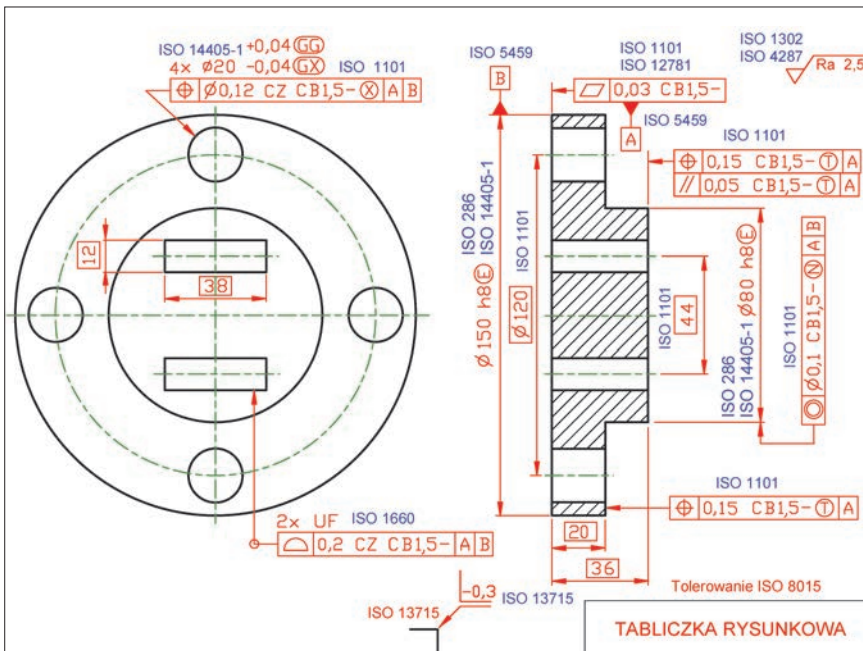


Fig. 2. Disc with new indicators introduced in the ISO GPS system. In addition, the standards in which used indicators are defined are listed for each indicator. The pattern of four cylindrical holes and the pattern of two rectangular holes are toleranced independently. There are no constraints for orientation between two toleranced patterns

Rys. 2. Tarcza z nowymi oznaczeniami wprowadzonymi w systemie ISO GPS. Dodatkowo przy poszczególnych oznaczeniach podano normy, w których zdefiniowano użyte oznaczenia. Szyk czterech otworów walcowych i szyk dwóch otworów prostokątnych są tolerowane niezależnie. Brak jest więzów dla kierunku między dwoma tolerowanymi szykami

Dla średnic analizowanej tarczy wymaganie powłoki oznaczono symbolem \textcircled{E} . Wymaganie powłoki dla średnic tarczy jest oznaczeniem uproszczonym, równoważnym dwóm wymaganiom: wymiarowi najmniejszemu opisanemu dla wymiaru granicznego górnego i wymiarowi dwupunktowemu dla wymiaru granicznego dolnego, tzn. powierzchnia kołnierza powinna zwierać się wewnątrz walca o średnicy 150 mm i żaden wymiar dwupunktowy nie powinien być mniejszy niż 149,937 mm. Powierzchnia trzpienia powinna zwierać się wewnątrz walca o średnicy 80 mm i żaden wymiar dwupunktowy nie powinien być mniejszy niż 79,954 mm.

Wymiary graniczne ustalono z wykorzystaniem systemu kodowania ISO wymiarów liniowych podanego w normie PN-EN ISO 286-1:2011. Wymaganie powłoki ogranicza odchyłki kształtu tolerowanej powierzchni. Dolny wymiar graniczny średnic czterech otworów 19,96 mm zdefiniowano jako największy wpisany (oznaczony literami *GX* umieszczonymi w spłaszczonym okręgu), a górny wymiar graniczny 20,04 mm zdefiniowano jako wymiar najmniejszych kwadratów (oznaczony przez litery *GG* umieszczone w spłaszczonym okręgu). Na rys. 2 wykorzystano oznaczenia dla czterech typów wymiarów elementów wymiarowalnych.

Zbiór wymiarów dla elementów typu walec lub dwie płaszczyzny przeciwległe równoległe został znacznie powiększony w PN-EN ISO 14405-1:2016. Odchyłki graniczne mogą być wyspecyfikowane dla czterech typów wymiarów zewnętrznych lub wewnętrznych:

- wymiaru lokalnego (wymiar dwupunktowy *LP*, wymiar sferyczny *LS*, wymiar przekroju, wymiar fragmentu);
- wymiaru globalnego (wymiar najmniejszych kwadratów *GG*, wymiar największy wpisany *GX*, wymiar najmniejszy opisany *GN*, wymiar minimax *GC*);
- wymiaru obliczonego (średnica obwodowa *CC*, średnica powierzchniowa *CA*, średnica objętościowa *CV*);
- wymiaru pozycyjnego (wymiar największy *SX*, wymiar najmniejszy *SN*, wymiar średni *SA*, wymiar mediany *SM*, wymiar środka przedziału *SD*, przedział wymiarów *SR*, odchylenie standardowe wymiarów *SQ*).

Łącznie wyróżniono 16 typów wymiarów zewnętrznych lub wewnętrznych. Większość z wymienionych wymiarów może być zmierzona tylko za pomocą współrzędnościowego systemu pomiarowego, przede wszystkim współrzędnościowej maszyny pomiarowej z kulistą końcówką pomiarową (rys. 3). Wymiar dwupunktowy *LP* zgodnie z definicją może być zmierzony tylko na współrzędnościowej maszynie pomiarowej. Pomiar mikrometrem jedynie w przybliżeniu wyznacza wymiar dwupunktowy. Końcówka pomiarowa o większej średnicy pomiarowej nie sięga do dna dolin. Oczywiście jest więc, że zaobserwowana średnica dwupunktowa trzpienia tarczy będzie większa dla końcówki o większej średnicy. Obie końcówki opierają się na wierzchołkach wzniesień – wymiar najmniejszy opisany *GN* będzie miał tę samą wartość bez względu na średnicę kulistej końcówki pomiarowej i może być wyznaczony tylko na współrzędnościowej maszynie pomiarowej. W normie PN-EN ISO 14405-1:2016 nie pokazano sposobu oznaczenia przez konstruktora preferowanej średnicy końcówki. Operatory specyfikacji wymiarów na rys. 2 są niekompletne – występuje niejednoznaczność specyfikacji.

Na rys. 2 dla tolerancji pozycji czterech otworów walcowych, tolerancji profilu powierzchni dwóch otworów prostokątnych i tolerancji współosiowości

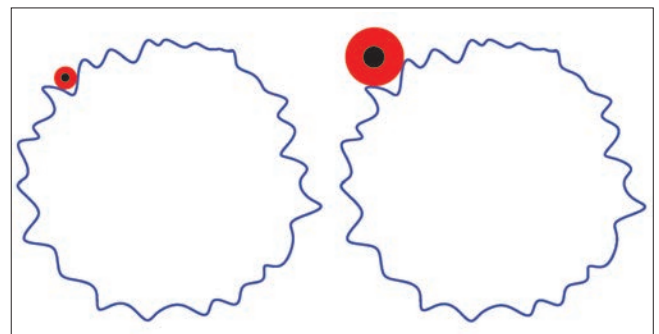


Fig. 3. The influence of the diameter of the measuring tip on the determination of the two-point diameter *LP* of the disc mandrel
Rys. 3. Wpływ średnicy końcówki pomiarowej na wyznaczenie średnicy dwupunktowej *LP* trzpienia tarczy

określono układ baz A i B wyznaczony przez dwie powierzchnie. Zgodnie z normą PN-EN ISO 5459:2011 domyślnie żadne wymagania odnośnie do kształtu lub kierunku tych powierzchni nie wynikają ze wskazania ich jako elementów bazowych. Dlatego, aby zapewnić stabilność bazy A dla podstawy tarczy, zdefiniowano tolerancję płaskości.

Na rys. 2 w każdym oznaczeniu tolerancji (termin wprowadzony w PN-EN ISO 1101:2017, poprzednio stosowano termin „ramka tolerancji”) podano oznaczenie filtru zamykania kulą $CB1,5$ – co można interpretować jako ustalenie 3 mm średnicy kulistej końcówki pomiarowej. W normie PN-EN ISO 1101:2017 podano 17 symboli dla filtrów, poczynając od dobrze znanych: filtru G – Gaussa, filtru S – funkcje sklejące oraz filtru SW – falkowego funkcje sklejące. Dla każdego z tych filtrów w oznaczeniu tolerancji, po symbolu filtru, konstruktor powinien podać wartość indeksu zagnieżdżenia.

Dotychczas opublikowano kilkanaście norm dotyczących filtracji (ISO 16610-xx), część norm jest w opracowaniu, a niektóre dopiero zaplanowano. Jak dotąd w ISO/TC 213 nie ustalono filtracji domyślnej, mimo że powszechnie wiadomo, iż zmierzone wartości odchyłek kształtu zmieniają się w znacznym stopniu w zależności od zastosowanych filtrów i wartości indeksów zagnieżdżenia. Nie ustalono filtracji domyślnej w normie PN-EN ISO 1101:2017 ze względu na różne poglądy wśród zainteresowanych stron, co uniemożliwiło osiągnięcie konsensusu. Tak więc, jeżeli w oznaczeniu tolerancji nie podano filtracji w sposób jawny, jest ona nieustalona. Specyfikacja bez wskazania filtru jest niepełna, czyli niejednoznaczna.

Dla tolerancji płaskości ($T = 0,03$) domyślnym elementem odniesienia do wyznaczenia odchyłki płaskości jest element minimax (C – Czebyszewa) bez więzów. W normie PN-EN ISO 1101:2017 dostępnych jest pięć innych elementów specyfikacji (CE – Czebyszewa z więzami na zewnątrz materiału; CI – Czebyszewa z więzami wewnątrz materiału; G – Gaussa, najmniejszych kwadratów; X – wpisany największy oraz N – opisany najmniejszy). Dla podanej tolerancji płaskości domyślnie wartość tolerancji jest określona jako przedział całkowity odchyłek (T – wniesienie-wgłębienie), tj. suma odległości od najwyższego wzniesienia elementu tolerowanego do elementu odniesienia i odległości od najniższego wgłębienia elementu tolerowanego do elementu odniesienia. Przy specyfikacji wartości tolerancji można podać jeden z trzech innych parametrów: P – odniesienie-wzniesienie, V – odniesienie-wgłębienie oraz Q – średnia kwadratowa. Średnia kwadratowa jest nowym parametrem. Odrzucono klasyczną interpretację tolerancji kształtu jako wartości liczbowej wyznaczającej szerokość pola tolerancji, w którym powinna się zwierać powierzchnia zaobserwowana. Zaletą parametru Q jest to, że redukuje on wpływ pojedynczych punktów ekstremalnych, które silnie rzutują na wartość pozostałych parametrów, co może prowadzić do błędnej oceny właściwości funkcjonalnych tolerowanej powierzchni. Zazwyczaj pojedyncze wzniesienie przy montażu zostaje ścięte lub spłaszczone.

Dla tolerancji kierunku oraz tolerancji położenia domyślnie elementem tolerowanym jest element integralny zaobserwowany (rzeczywista powierzchnia wyrobu) albo element pochodny zaobserwowany (linia środkowa zaobserwowana lub powierzchnia środkowa zaobserwowana). Na rys. 2 dla tolerancji pozycji osi czterech otworów ($T = 0,12$) zastosowano modyfikator \otimes , co oznacza, że elementem tolerowanym dla każdego z czterech otworów jest oś walca wpisanego największego. Dla tolerancji współosiowości trzpienia tarczy ($T = 0,1$) zastosowano modyfikator \otimes , co oznacza, że elementem tolerowanym jest oś walca opisanego najmniejszego. Dla dwóch tolerancji pozycji ($T = 0,15$) powierzchni czołowych tarczy względem bazy A (płaszczyzny przylegającej do czoła tarczy) zastosowano modyfikator \oplus , co oznacza, że elementem tolerowanym są płaszczyzny przylegające do wskazanych powierzchni zaobserwowanych. Modyfikator \oplus wyspecyfikowano, aby zaniechać odchyłki płaskości obu tolerowanych powierzchni, a zwłaszcza wyeliminować wpływ dna zagłębień, gdyż o usytuowaniu płaszczyzny przylegającej decyduje konfiguracja wzniesień. Gdyby dla kołowej powierzchni czołowej o średnicy nominalnej $\varnothing = 80$ mm pozostać przy tolerancji pozycji, to najdalszy od bazy A punkt płaszczyzny przylegającej do tolerowanej powierzchni mógłby się znajdować w odległości 36,075 mm, a punkt najbliższy – w odległości 35,925 mm, co oznacza że płaszczyzna przylegająca do tej powierzchni mogłaby mieć odchyłkę równoległości 0,15 mm względem bazy A . Uznano, że jest to zbyt duża wartość odchyłki kierunku, dlatego wyspecyfikowano dodatkowo tolerancję równoległości ($T = 0,05$ z modyfikatorem \oplus). Zastosowanie dwóch oznaczeń tolerancji obniża koszty wytwarzania tej powierzchni, dopuszczając większą zmienność położenia przy ograniczeniu zmienności kierunku.

W PN-EN ISO 1101:2017 podano pięć modyfikatorów określających element tolerowany skojarzony (\odot , \oplus , \oplus , \otimes , \otimes). Oprócz omówionych jako element tolerowany skojarzony można wskazać \odot – element minimax (Czebyszewa) oraz \oplus – element najmniejszych kwadratów (Gaussa).

Oznaczenie tolerancji pozycji [8, 9] czterech otworów (rys. 2, $T = 0,12$) zawiera modyfikator CZ . Modyfikator CZ (pole łączone) kasuje sformułowaną w PN-EN ISO 8015:2012 domyślną zasadę niezależności ustalającą, że każda tolerancja kierunku lub położenia dotyczy niezależnie każdego elementu tolerowanego (indywidualnie każdego pojedynczego elementu geometrycznego). Baza A (płaszczyzna przylegająca do powierzchni czołowej tarczy) wyspecyfikowana w pierwszym polu trzeciej sekcji oznaczenia tolerancji ustala kierunek osi każdego z czterech walcowych pól tolerancji jako prostopadły do bazy A . Baza B wyznacza oś (oś walca opisanego na kołnierzu tarczy z więzami prostopadłości względem bazy A) ustalającą położenie osi każdego z czterech walcowych pól tolerancji na promieniu teoretycznie dokładnym 60 mm od tej bazy ($TED = 120/2 = 60$). Modyfikator CZ określa specyfikację szyku z oznaczeniem pojedynczym z wymiarem kątowym $TED = 90^\circ$

oczywistym niejawnym między walcowymi polami tolerancji. Wprowadzenie modyfikatora CZ w PN-EN ISO 5458:2018 wyeliminowało sprzeczność, która występowała między PN-EN ISO 5458:2000 (zgodnie z ustaleniami wydania z roku 2000 domyślnie przyjmowano, że otwory są rozmieszczone równomiernie w położeniu teoretycznym) i PN-EN ISO 8015:2012 (każde walcowe pole tolerancji ma więzy tylko względem baz A i B – zasada niezależności). Nie powinno więc być wątpliwości, że pola tolerancji zdefiniowane przez jedno oznaczenie tolerancji powinny być rozpatrywane oddzielnie i tylko modyfikator CZ tworzy szyk. Obecnie, aby uniknąć niejednoznaczności specyfikacji z uwagi na dwudziestoletnią praktykę domyślnego szyku z użyciem symbolu tolerancji pozycji zastosowanego do więcej niż jednego elementu geometrycznego w drugiej sekcji oznaczenia tolerancji zawsze powinien być wyspecyfikowany jeden z modyfikatorów SZ (pola oddzielne) lub CZ (pole łączone), gdy co najmniej jeden dostępny stopień swobody pól tolerancji jest nieodebrany przez układ baz. Poza modyfikatorami CZ i SZ w PN-EN ISO 5458:2018 zdefiniowano modyfikator CZR – pole łączone tylko obrotowo oraz SIM – wymaganie równoczesne (rys. 4).

Dla tolerancji profilu powierzchni (rys. 2, $T = 0,2$) wyspecyfikowano modyfikator UF i symbol dookoła. Modyfikator UF (element scalony umieszczony nad oznaczeniem tolerancji) i symbol dookoła (niewielki okrąg umieszczony na przecięciu linii wskazującej i linii odniesienia) wyznaczają dla każdego z otworów element tolerowany – element integralny złożony utworzony przez cztery ścianki otworu o przekroju prostokątnym wyznaczonym przez wymiary teoretycznie dokładne $TED = 12$ i $TED = 38$. W drugiej sekcji oznaczenia tolerancji profilu powierzchni wyspecyfikowano modyfikator CZ, co oznacza, że pola tolerancji dla powierzchni zaobserwowanych obu otworów tworzą szyk. Pola te mają jedną wspólną poprzeczną płaszczyznę symetrii prostopadłą do bazy A i przechodzącą przez bazę B.

Wzdłużne płaszczyzny symetrii pól tolerancji dla powierzchni zaobserwowanej każdego z otworów są usytuowane w odległościach teoretycznie dokładnych 22 mm ($TED = 44/2 = 22$) od bazy B. Pole tolerancji dla każdego z prostopadłościennych otworów jest ograniczone przez dwie powierzchnie będące obwiedniami sfer o średnicy 0,2 mm, których środki są położone na powierzchniach teoretycznie dokładnych każdego z otworów usytuowanych w położeniach teoretycznie dokładnych względem układu baz A i B.

Należy zauważyć, że na rys. 2 tolerancja pozycji czterech otworów walcowych oraz tolerancja profilu powierzchni szyku dwóch otworów prostopadłościennych stanowią dwa oddzielne wymagania. Oznacza to, że płaszczyzna symetrii dwóch pól tolerancji profilu powierzchni dwóch otworów prostopadłościennych przechodząca przez bazę B może być obrócona względem dwóch prostopadłych płaszczyzn przechodzących przez bazę B i wyznaczających usytuowanie czterech walcowych pól tolerancji pozycji.

Na rys. 4 dla tej samej tarczy dla otworów walcowych i prostopadłościennych wprowadzono modyfikator SIM – wymaganie równoczesne. Zastosowanie modyfikatora SIM w obszarze przyległym do oznaczenia tolerancji przekształca zbiór więcej niż jednej specyfikacji geometrycznej w specyfikację łączoną (specyfikację szyku). Cztery pola tolerancji pozycji i dwa pola tolerancji profilu powierzchni są ustalone wzajemnie przez więzy położenia i kierunku. Przez oznaczenie modyfikatora SIM wprowadzono warunek pokrywania się płaszczyzny symetrii dwóch pól tolerancji profilu powierzchni szyku otworów prostopadłościennych przechodzącej przez bazę B z płaszczyzną symetrii wyznaczającą usytuowanie dwóch z czterech walcowych pól tolerancji pozycji. Na rys. 4 specyfikacja modyfikatorów CZ w oznaczeniach tolerancji pozycji i tolerancji profilu powierzchni jest zbędna, gdyż przez użycie modyfikatora SIM wszystkie sześć pól tolerancji zostało połączonych w jedno wymaganie równoczesne.

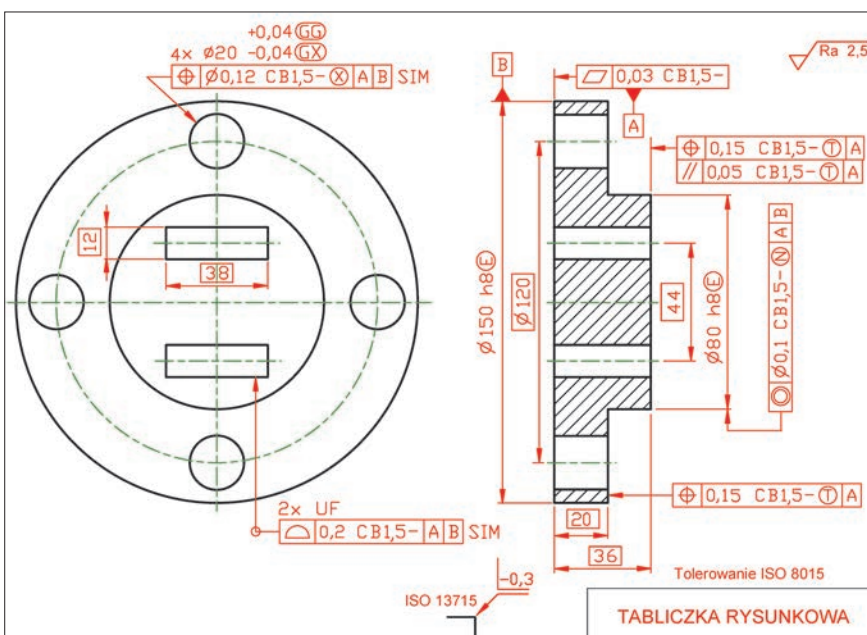


Fig. 4. The SIM modifier adjacent to the position tolerance and surface profile tolerances indicates that two patterns of tolerance fields are combined into one single requirement. The cuboid and cylindrical holes should not be rotated relative to each other. Rys. 4. Modyfikator SIM przyległy do oznaczeń tolerancji pozycji i tolerancji profilu powierzchni wskazuje, że dwa szyki pól tolerancji są połączone w jedno pojedyncze wymaganie. Otwory prostopadłościenne i walcowe nie powinny być obrócone względem siebie

Podsumowanie

Autor od wielu lat prowadzi na Politechnice Warszawskiej wykłady i ćwiczenia poświęcone konieczności stosowania tolerancji geometrycznych [10]. Tematyka ta jest prezentowana szerzej tylko na kilku uczelniach, a powinna być obecna i rozwijana na wszystkich wydziałach mechanicznych, co wynika z wypowiedzi uczestników szkoleń i konsultacji, które autor od wielu lat realizuje w przemyśle, głównie w branży samochodowej i lotniczej. Wielu młodych inżynierów nie potrafi w pełni wyjaśnić sensu funkcjonalnego oznaczeń określających dopuszczalne odchyłki geometryczne wykonanego wyrobu od jego modelu nominalnego, co jest konieczne do właściwego projektowania, wytwarzania i weryfikacji geometrii wyrobów. Niektórzy absolwenci dopiero podczas pracy po raz pierwszy uświadamiają sobie konieczność stosowania tolerancji geometrycznych. Brakuje wiedzy, że tylko tolerowanie geometryczne zapewnia jednoznaczny specyfikację, co z łatwością pozwala spełnić wymagania klienta. Wielu ze zdziwieniem dowiaduje się, że poza 14 symbolami tolerancji geometrycznych występuje wiele ustaleń domyślnych i dostępnych jest ponad 100 modyfikatorów pozwalających skutecznie oraz efektywnie zdefiniować złożone wymagania funkcjonalne.

Kluczowe są tu słowa: „efektywnie”, czyli celem jest minimalizacja kosztów wytwarzania, i „skutecznie”, czyli wyrób powinien działać zgodnie z potrzebami użytkownika – spełniać wymagania funkcjonalne. Niestety dominuje fałszywy pogląd, że im mniej tolerancji geometrycznych jest na rysunku, tym tańszy będzie wyrób. W rzeczywistości jest odwrotnie – poprawnie wyspecyfikowane tolerancje geometryczne pozwalają obniżyć koszty produkcji, gdyż eliminują niejednoznaczności, dzięki czemu wartości liczbowe tolerancji mogą być większe i już pierwszy wykonany wyrób będzie spełniać wymagania klienta. Odpowiedź na pytanie postawione w tytule artykułu jest więc oczywista – należy się pilnie uczyć języka specyfikacji geometrii wyrobów, aby stał się on naturalnym językiem porozumiewania się konstruktorów, technologów i metrologów.

Warto podkreślić, że słaba znajomość języka specyfikacji geometrii wyrobów dotyczy inżynierów z całej Europy. Zauważyła to Komisja Europejska, przyznając grant na realizację projektu “Geometrical Product Specification and Verification as toolbox to meet up-to-date technical requirements – GPS&V Toolbox” w programie Erasmus+ [11].

Przykład tarczy pokazuje, że język graficzny specyfikacji geometrii wyrobów jest złożony i daje olbrzymie możliwości konstruktorowi, ale tak jak przy nauce każdego obcego języka warto opanować podstawowy zestaw symboli i ustaleń domyślnych, aby rozpocząć skuteczną komunikację wewnątrz firmy, a także z dostawcami i klientami. Inżynier, który po raz pierwszy styka się z systemem ISO GPS, znajdzie na stronie ISO/TC 213 [3] kilkanaście powiązanych ze sobą norm bezpośrednio dotyczących tolerancji geometrycznych. W sumie ponad 1000 stron napisanych trudnym nor-

malizacyjnym językiem. W systemie ISO GPS poza tolerowaniem wymiarów i czternastoma symbolami tolerancji geometrycznych występują liczne ustalenia domyślne, modyfikatory oraz inne oznaczenia. Innowacyjne technologie wytwarzania, szybkie prototypowanie, miniaturyzacja, nowe wymagania funkcjonalne w przemyśle samochodowym i lotniczym oraz cyfryzacja wymagają coraz bardziej wyrafinowanych metod specyfikacji geometrii wyrobów. Przeciętnemu użytkownikowi trudno ustalić, co jest dla niego ważne.

Aby ułatwić korzystanie z systemu ISO GPS, na spotkaniu Komitetu Technicznego ISO/TC 213 we wrześniu 2019 r. w Berlinie podjęto decyzję o opracowaniu nowej normy zgodnie z zasadą Pareto 20/80. Wydaje się, że 80% zadań konstruktora, technologa i metrologa to rutynowe działania, do których realizacji wystarczy 20% narzędzi dostępnych w systemie ISO GPS. Procedura opracowania nowej normy ruszyła formalnie jako nowy projekt ISO/PWI 5067 GPS – Introductory standard. W grupie roboczej WG 17 utworzono zespół zadaniowy, w którym uczestniczy autor. Trwają e-dyskusje nad strukturą nowej normy i jej zawartością. Publikację ISO 5067 zaplanowano na 2023 r.

LITERATURA

- [1] Białas S., Humienny Z., Kiszka K. „Metrologia z podstawami specyfikacji geometrii wyrobów (GPS)”. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2014.
- [2] PN-EN ISO 14405-2:2019E Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Tolerowanie wymiarów – Część 2: Wymiary inne niż wymiary liniowe lub kątowe wewnętrzne lub zewnętrzne.
- [3] <https://committee.iso.org/home/tc213> (dostęp: 13.05.2020).
- [4] Morse E.P., Shakarji C.M., Srinivasan V. “A brief analysis of recent ISO tolerancing standards and their potential impact on digitization of manufacturing”. *Procedia CIRP*. 75 (2018): 11–18.
- [5] Nielsen H.S. “Recent developments in International Organization for Standardization geometrical product specification standards and strategic plans for future work”. *Proc. IMechE Part B: J. Engineering Manufacture*. 227, 5 (2012): 643–649.
- [6] PN-EN ISO 1101:2017 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Tolerancje geometryczne – Tolerancje kształtu, kierunku, położenia i bicia.
- [7] PN-EN ISO 14405-1:2016 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Tolerowanie wymiarów – Część 1: Wymiary liniowe wewnętrzne lub zewnętrzne.
- [8] Yan Y., Bohn M. “Complements and enhancements of position tolerance for axis and derived line imposed by ISO standards”. *Int. J. of Mechanical Engineering and Robotics Research*. 7, 2 (2018): 158–163.
- [9] Toteva-Lyutova P.K., Slavov S.D., Koleva K.S. “Application of new generation geometrical product specifications – position tolerancing”. *Proc. Int. Conf. on Interdisciplinary Studies (ICIS 2016) – Interdisciplinarity & Creativity in the Knowledge Society*. (2016): 149–162.
- [10] Humienny Z., Berta M. „Wizualizacja strategii pomiarowych wykorzystywanych do oceny odchyłek geometrycznych na współrzędnościowych maszynach pomiarowych”. *Mechanik*. 11 (2014): 918–922.
- [11] Płowucha W., Humienny Z., Mathieu L., Savio E. “GPS&V Toolbox – project that facilitates professional training in ISO GPS system”. *Proc. 18th Int. Con. & Exhibition, Euspen 2018*. European Society for Precision Engineering & Nanotechnology. (2018): 517–518. ■