



# Szacowanie niepewności pomiarów współrzędnościowych

## Część 2: Aktualna sytuacja

Władysław JAKUBIEC, Wojciech PŁOWUCHA, Paweł ROSNER, Mirosław WOJTYŁA



Akademia  
Techniczno-Humanistyczna  
w Bielsku-Białej



Wydział  
Budowy Maszyn i Informatyki



Laboratorium Wzorcujące  
Akredytacja PCA Nr AP 138

# EMPIR EURAMET Project

Projekt 17NRM03 “Standards for the evaluation of the uncertainty of coordinate measurements in industry EUCoM” jest realizowany w latach 2019-2021 przez:

INRIM (Italy) (coordinator),  
Metrosert (Estonia),  
GUM (Poland),  
NPL (UK),  
TUBITAK (Turkey),  
ATH (Poland),  
przy współpracy z Politechniką Krakowską.

IK4-TEKNIKER (Spain),  
CMI (Czech Republic),  
DTI (Denemark),  
PTB (Germany),  
NMIJ-AIST (Japan),  
UNIPD (Italy),

Więcej informacji na <https://eucom-empir.eu>





# Stan prac normalizacyjnych

- ISO/TS 15530-1 Technique for determining the uncertainty of measurement. Part 1: Overview and metrological characteristics (opublikowany w 2013) – przewiduje 3 metody: sensitivity analysis, use of calibrated workpiece, using simulation
- ISO 15530-3 Part 3: Use of calibrated workpieces or measurement standards (Zastosowanie przedmiotów wzorcowych i wzorców) (norma ISO została opublikowana w 2011, wcześniej, w 2004 opublikowano ISO/TS)
- ISO/TS 15530-4 Part 4: Evaluating task-specific measurement uncertainty using simulation (specyfikacja techniczna została opublikowana w 2008)
- ISO/DTS 15530-2 Part 2: Use of multiple measurement strategies in measurements of artefacts
- VDI/VDE 2617-11 Accuracy of coordinate measuring machines. Characteristics and their checking. Determination of the uncertainty of measurement for coordinate measuring machines using uncertainty budgets



# Klasyfikacja GUM a ISO 15530

## GUM

## ISO 15530

GUM uncertainty framework

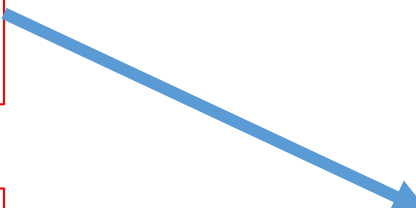
analytic method

Monte Carlo method

sensitivity analysis

use of calibrated workpieces or standards

use of computer simulation



TECHNICAL  
SPECIFICATION

ISO/TS  
15530-3

First edition  
2004-03-01

---

---

**Geometrical Product Specifications  
(GPS) — Coordinate measuring machines  
(CMM): Technique for determining the  
uncertainty of measurement —**

**Part 3:  
Use of calibrated workpieces or  
standards**

## ISO 15530-3

**Geometrical product specifications  
(GPS) — Coordinate measuring machines  
(CMM): Technique for determining the  
uncertainty of measurement —**

**Part 3:  
Use of calibrated workpieces or  
measurement standards**

## PN-EN ISO 15530-3

**Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS)**

**Współrzędnościowe maszyny pomiarowe (CMM):  
Metoda wyznaczania niepewności pomiaru**

**Część 3: Zastosowanie przedmiotów wzorcowych  
i wzorców**



## Metoda „z użyciem **wyworcowanego** artefaktu” – ISO/TS 15530-3

Zmierz 20 razy znaną charakterystykę wyworcowanego przedmiotu

Oblicz z wyników  $y_i$  wartość średnią  $\bar{y}$  i odchylenie standardowe  $u_p$

Oblicz rozszerzoną niepewność pomiaru według wzoru (ISO/TS 15530-3):

$$U = k \times \sqrt{u_{cal}^2 + u_p^2 + u_w^2} + |b|$$

$k=2$ ,  
składnik  $u_w$  zwykle jest równy zero

w którym:

$$u_{cal} = \frac{U_{cal}}{k}$$

$$b = \bar{y} - x_{cal}$$

( $x_{cal}$ ,  $U_{cal}$  i  $k$  ze świadectwa wzorcowania)

$$u_p = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Płowucha W., Jakubiec W.: Wyznaczanie niepewności pomiarów współrzędnościowych. Cz. 3: Zastosowanie przedmiotu wzorcowego. Mechanik 2014 nr 8-9CD1, s. 113-121;



# ISO 15530-3

Różnice w porównaniu z ISO/TS 15530-3:

$$Y = y - b \pm U$$

wyniki przyszłych pomiarów należy korygować

$$U = k \times \sqrt{u_{cal}^2 + u_p^2 + u_b^2 + u_w^2}$$

$k=2$ ,  
składnik  $u_w$  zwykle jest równy zero

w którym:

$$u_{cal} = \frac{U_{cal}}{k}$$

$$b = \bar{y} - x_{cal}$$

( $x_{cal}$ ,  $U_{cal}$  i  $k$  ze świadectwa wzorcowania)

$$u_p = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$



# ISO 15530-3 – terminologia – metody pomiaru

pomiar bez podstawienia (**non-substitution** measurement) (**pomiar bezpośredni**) - pomiar, w którym jako wynik stosuje się surowe wskazanie CMM

pomiar z podstawieniem (**substitution** measurement) (**pomiar różnicowy**) - pomiar, w którym mierzy się zarówno przedmiot, jak i wzorzec kontrolny w celu zapewnienia dodatkowych korekcji dla błędów systematycznych CMM





# ISO Guide 99 – metody pomiarowe

Metody pomiarowe mogą być klasyfikowane w różny sposób, np.:

- metoda pomiarowa podstawieniowa (substitution),
- metoda pomiarowa różnicowa (differential), oraz
- metoda pomiarowa zerowa (null);

albo

- metoda pomiarowa bezpośrednia (direct), oraz
- metoda pomiarowa pośrednia (indirect).

Metoda podstawieniowa (Substitution Method [<https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Substitution+Method>])

- każda metoda pomiaru, taka jak ważenie podstawieniowe, w której określona wielkość (np. ważony obiekt) jest określana poprzez zastąpienie jej znaną określoną wielkością (np. odważnikami), która daje taki sam efekt. Metoda ta pozwala na eliminację błędów systematycznych pomiaru spowodowanych błędami przyrządu pomiarowego służącego do porównania wielkości mierzonej ze wzorcem. W metodzie podstawieniowej wartość mierzonej wielkości nie jest ustalana z odczytu przyrządu pomiarowego, ale raczej z wielkości wzorca, który jest wybrany lub regulowany w taki sposób, że odczyt przyrządu pomiarowego pozostaje taki sam, gdy mierzona wielkość zostanie zastąpiona wzorcem. Na przykład podczas ważenia przedmiotu na wadze belkowej przedmiot ten jest zdejmowany z szalki i zastępowany odważnikami o identycznej masie całkowitej; waga pokaże poprzedni odczyt (metoda Borda). Metoda podstawieniowa jest szeroko stosowana do pomiaru wielkości elektrycznych, takich jak rezystancja, pojemność i indukcyjność.



## Metoda „z użyciem **wywzorcowanego** przedmiotu”

### **8 Badanie okresowe niepewności pomiaru**

Ocena niepewności ... powinna być regularnie powtarzana.

### **9 Sprawdzanie bieżące niepewności pomiaru**

Sprawdzanie bieżące jest uproszczeniem oceny niepewności, w którym przedmioty wzorcowe są zastępowane przedmiotami do pomiaru w sposób badania wyrywkowego. Służy to sprawdzeniu, czy nadal ważne są wszystkie założenia poczynione odnośnie do zmienności długookresowej warunków pomiaru, w szczególności temperatury. Odstępy czasu między sprawdzaniami bieżącymi są określone przez użytkownika CMM i zależą od wymaganej niepewności pomiaru oraz warunków środowiskowych.



# Wzorce





## Metoda „z użyciem wywzorcowanego przedmiotu”

Dla jakiej mierzonej charakterystyki chcesz poznać niepewność pomiaru?  
Czy dysponujesz wzorcem, dla którego taka charakterystyka jest znana?

Przykład

Mierzona charakterystyka: odchyłka okrągłości otworu

Wywzorcowany przedmiot: pierścień wzorcowy





## Metoda „z użyciem wywzorcowanego przedmiotu”

Dla jakiej mierzonej charakterystyki chcesz poznać niepewność pomiaru?  
Czy dysponujesz wzorcem, dla którego taka charakterystyka jest znana?

Przykład

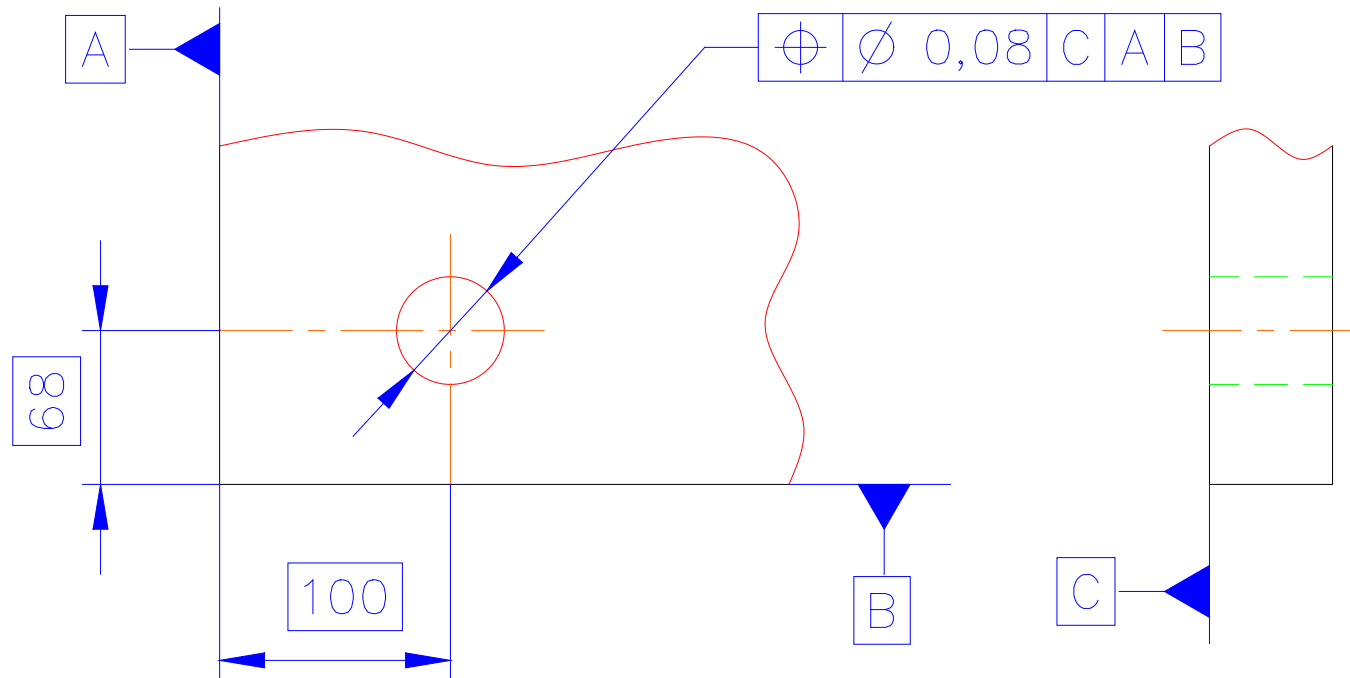
Mierzona charakterystyka: średnica wałka

Wywzorcowany przedmiot: trzpień wzorcowy





# Metoda „z użyciem wywzorcowanego przedmiotu”



Dla jakiej mierzonej charakterystyki chcesz poznać niepewność pomiaru?

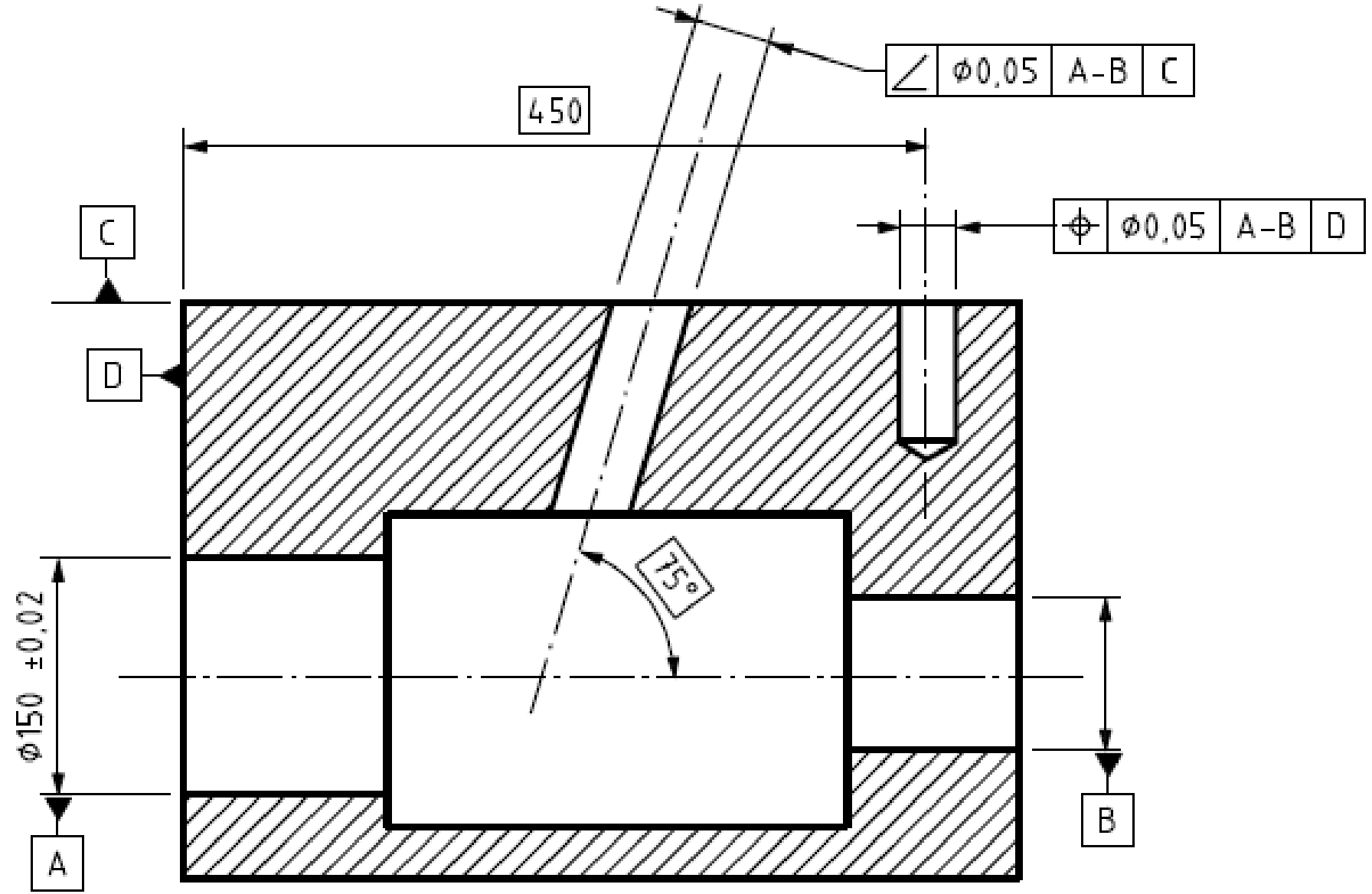
Czy dysponujesz wzorcem, dla którego taka charakterystyka jest znana?

Przykład

Mierzona charakterystyka: odchyłka pozycji osi względem układu baz

Wywzorcowany przedmiot: ?

# Metoda „z użyciem wywzorcowanego przedmiotu”





# Metoda „z użyciem wywzorcowanego przedmiotu”

wywzorcowany przedmiot wzorcowy lub wzorzec







# Metoda „z użyciem wywzorcowanego przedmiotu”

Tablica 2 — Wymagania podobieństwa dla mierzonych przedmiotów lub wzorców i przedmiotów wzorcowych lub wzorców stosowanych podczas oceny niepewności pomiaru

Dziedzina	Wymaganie	
Charakterystyki wymiarowe	Wymiary	Identyczne w zakresie: — 10 % powyżej 250 mm — 25 mm poniżej 250 mm
	Kąty	Identyczne w zakresie $\pm 5^\circ$
Odchyłki kształtu i struktury geometrycznej powierzchni	Podobne ze względu na właściwości funkcjonalne	
Materiał (np. rozszerzalność cieplna, sprężystość, twardość)	Podobny ze względu na właściwości funkcjonalne	
Strategia pomiarowa	Identyczna	
Konfiguracja głowicy pomiarowej	Identyczna	



## Metoda „z użyciem wywzorcowanego artefaktu”, ISO/TS 15530-3

### Przykład: średnica i odchyłka okrągłości

- 20 pomiarów średnicy i odchyłki okrągłości pierścienia wzorcowego,
- pomiary rozłożone w czasie,
- pierścień ustawiany w różnych miejscach na stole maszyny

Dane ze świadectwa wzorcowania wzorca pierścieniowego:

- średnica  $50,0015 \pm 0,0009$  mm (ucal =  $0,45 \mu\text{m}$ );
- odchyłka okrągłości  $0,31 \pm 0,08 \mu\text{m}$  (ucal =  $0,04 \mu\text{m}$ ).



# Metoda „z użyciem wywzorcowanego przedmiotu”, ISO/TS 15530-3

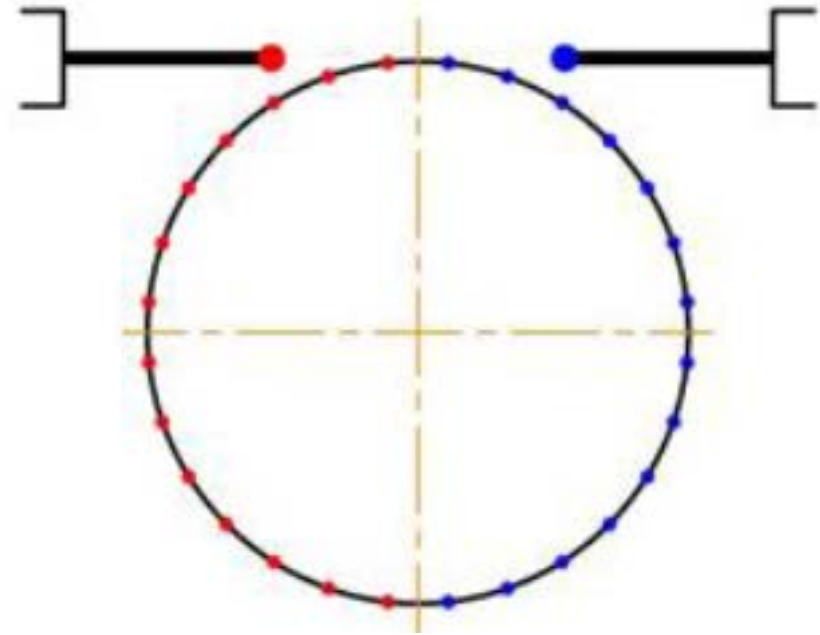
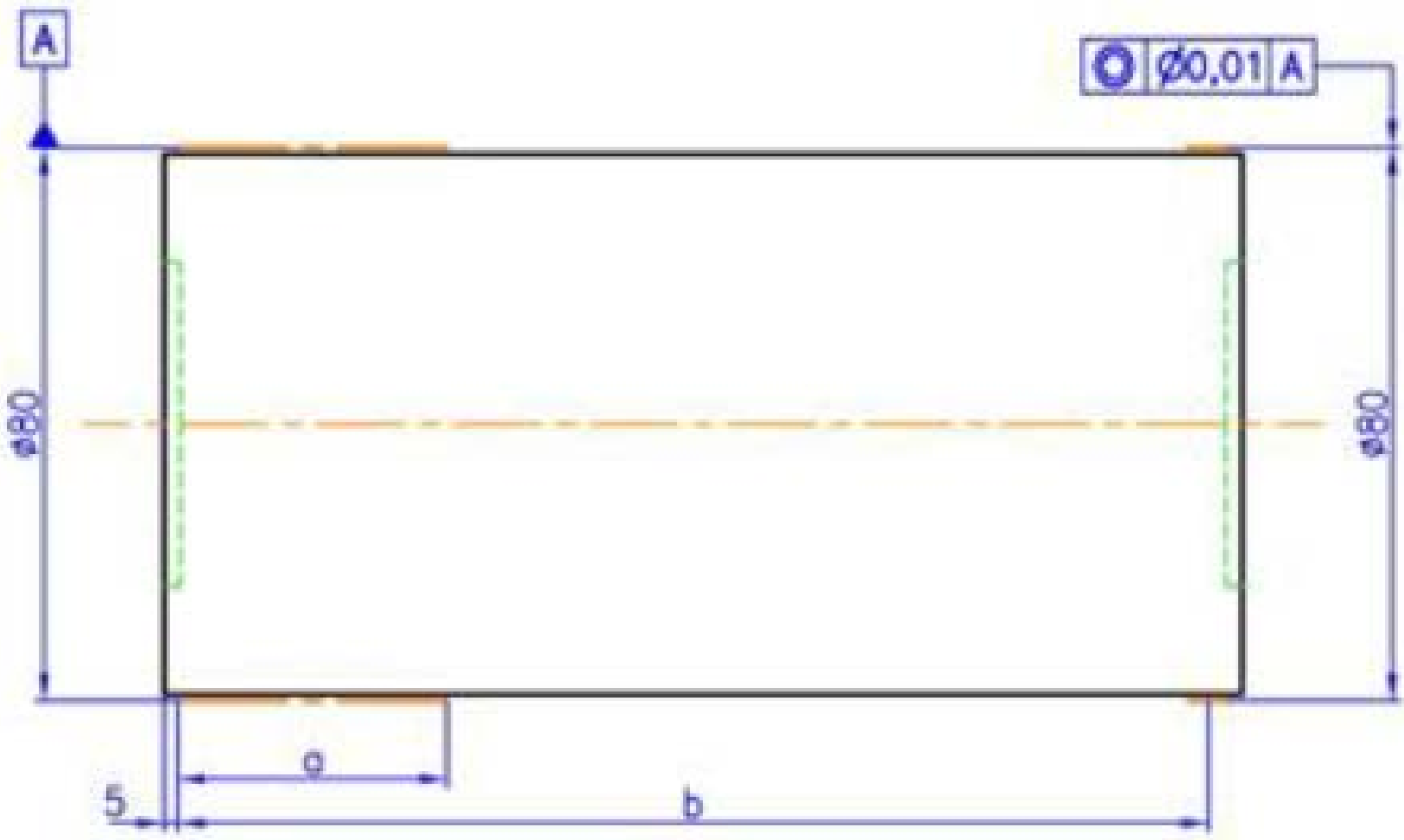
Przykład, średnica i odchyłka okrągłości cd.

	Średnica, mm				Odchyłka okrągłości, $\mu\text{m}$			
	49,9999	50,0017	50,0008	50,0001	4,2	3,7	5,1	3,6
	50,0018	50,0017	50,0013	50,0014	5,0	4,3	3,3	4,9
	50,0009	50,0017	50,0013	50,0014	4,0	4,3	3,3	4,9
	50,0005	50,0024	50,0003	50,0017	3,5	5,3	4,7	5,6
	50,0005	50,0014	50,0005	50,0003	4,3	5,7	3,8	4,0
$\bar{x}$	50,0011				4,38			
$u_p$	0,0007				0,74			
$x_{cal}$	50,0015				0,31			
$U_{cal}$	0,0009				0,08			
$u_{cal}$	0,0005				0,04			
$ b $	0,0004				4,07			
$U$	0,0021				5,55			



# Metoda „z użyciem wywzorcowowanego przedmiotu”, ISO/TS 15530-3

Użycie kątownika walcowego do oceny niepewności pomiaru współosiowości





# Metoda „z użyciem wywzorcowanego przedmiotu”, ISO/TS 15530-3

## Użycie kątownika walcowego, cd.

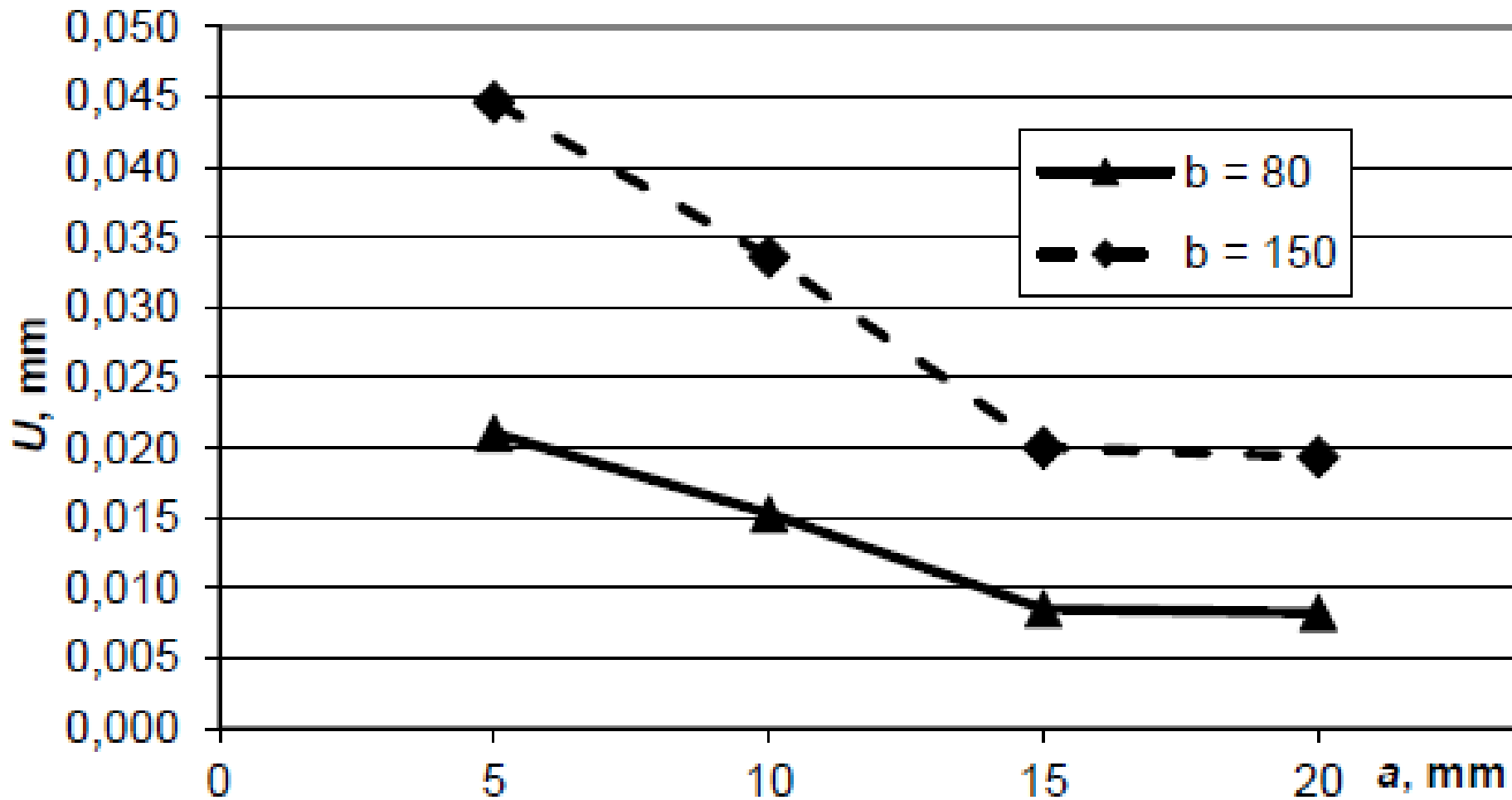
<i>b</i>	80				150			
<i>a</i>	5	10	15	20	5	10	15	20
1	0,0182	0,0160	0,0089	0,0075	0,0371	0,0328	0,0190	0,0161
2	0,0193	0,0118	0,0084	0,0088	0,0389	0,0245	0,0177	0,0187
3	0,0136	0,0154	0,0089	0,0085	0,0288	0,0323	0,0197	0,0189
4	0,0181	0,0131	0,0062	0,0091	0,0388	0,0292	0,0159	0,0210
5	0,0137	0,0167	0,0062	0,0070	0,0290	0,0349	0,0144	0,0162

19	0,0126	0,0107	0,0071	0,0084	0,0254	0,0252	0,0141	0,0142
20	0,0142	0,0121	0,0048	0,0068	0,0293	0,0239	0,0155	0,0137
$\bar{x}$	0,0134	0,0116	0,0064	0,0074	0,0280	0,0247	0,0147	0,0160
$u_p$	0,0046	0,0026	0,0018	0,0011	0,0092	0,0053	0,0035	0,0024
$x_{cal}$	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018
$U_{cal}$	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
$u_{cal}$	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008
$ b $	0,0116	0,0098	0,0046	0,0056	0,0262	0,0229	0,0129	0,0142
$U$	<b>0,0210</b>	<b>0,0153</b>	<b>0,0085</b>	<b>0,0082</b>	<b>0,0446</b>	<b>0,0336</b>	<b>0,0200</b>	<b>0,0193</b>



# Metoda „z użyciem wywzorcowanego przedmiotu”, ISO/TS 15530-3

Użycie kątownika walcowego, cd.

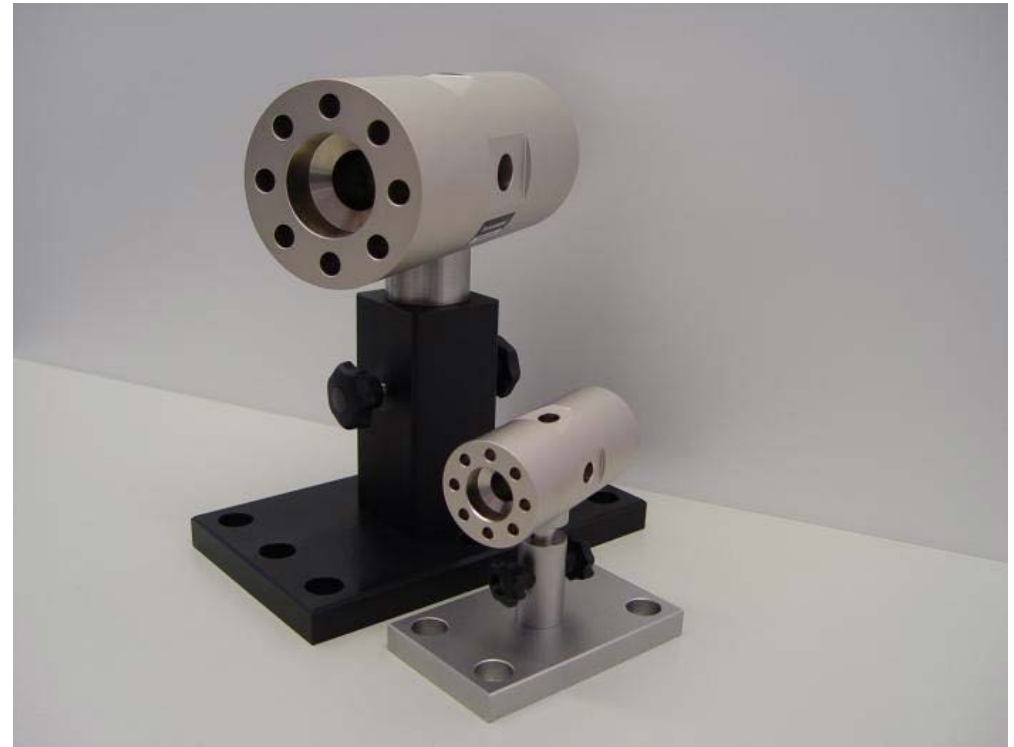
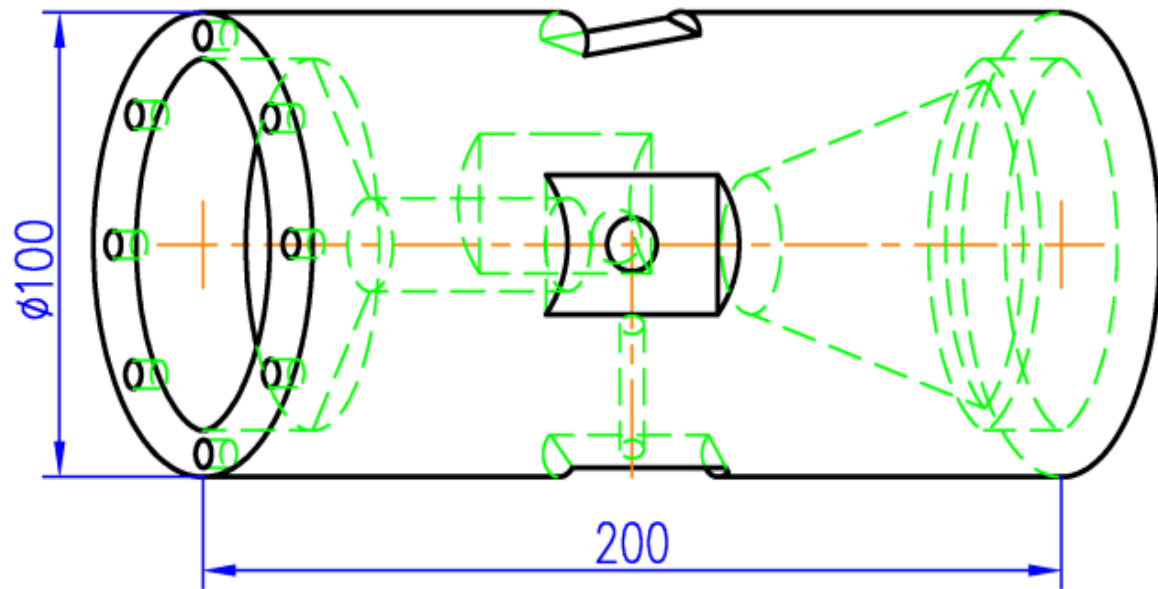


Wpływ długości bazy i odległości elementu tolerowanego od bazy na niepewność pomiaru odchyłki współosiowości

# Ustalenie i mocowanie przedmiotu



# Multi-feature-check (MFC) (Zeiss)







# Zastosowanie jako przedmiotu wzorcowego specjalnie wykonanego przedmiotu

## Zalety:

- możliwość wykonania przedmiotu wzorcowego z materiału, który zapewnia dobrą stabilność wymiarową
- możliwość dokładniejszego wykonania niż normalnie wytwarzane części w szczególności w zakresie odchyłek kształtu oraz chropowatości powierzchni
- w czasie jednego eksperymentu zostaną wyznaczone niepewności pomiaru dla wszystkich charakterystyk

## Wady

- koszt takiego przedmiotu jest zwykle wysoki,
- użycie innego materiału zwiększa udział błędu temperaturowego w budżecie niepewności.



## Użycie prostych, dostępnych wzorców

Zamiast przedmiotu wzorcowego podobnego do przedmiotu pomiaru norma przewiduje użycie powszechnie dostępnych wzorców o prostej konstrukcji: pierścieni i trzpieni wzorcowych, kątownika walcowego ...

Zalety:

dostępność, cena, niskie koszty wzorcowania

Wady:

konieczność użycia wielu przedmiotów i wielokrotnie dłuższy czas wykonania eksperymentów

brak możliwości oceny niepewności dla wszystkich charakterystyk



# Zastosowanie jako przedmiotu wzorcowego jednego z wykonanych przedmiotów

## Zalety:

- niski koszt,
- fakt, że przedmiot wzorcowy jest wykonany z tego samego materiału, jak części, które są mierzone.

## Wady:

- ryzyko braku stabilności wymiarowej,
- stosunkowo wysokie odchyłki kształtu, kierunku i chropowatość powierzchni,



Tablica 3 — Składowe niepewności i ich uwzględnienie w szacowaniu niepewności

# ISO 15530-3:2011

Składowa niepewności	Metoda oceny (zgodnie z GUM <sup>a</sup> )	Oznaczenie
Błędy geometryczne CMM	A	Oceniona w sumie $u_p$
Temperatura CMM		
Dryft CMM		
Temperatura przedmiotu		
Błędy systematyczne zespołu głowicy pomiarowej		
Powtarzalność CMM		
Rozdzielczość wzorca CMM		
Gradienty temperatury CMM		
Błędy przypadkowe zespołu głowicy pomiarowej		
Niepewność zmiany głowicy pomiarowej		
Błędy wywołane procedurą (mocowanie, manipulacja itd.)		
Błędy wywołane przez zanieczyszczenia		
Błędy wywołane przez strategię pomiaru		
Niepewność wzorcowania przedmiotu wzorcowego	B	$u_{cal}$
Wszystkie czynniki tworzące $u_p$ i warunki cieplne podczas szacowania przedmiotu wzorcowego	B	$u_D$
Różnice między przedmiotami i przedmiotem wzorcowym <ul style="list-style-type: none"> <li>- chropowatości</li> <li>- kształcie</li> <li>- współczynnika rozszerzalności cieplnej</li> <li>- sprężystości</li> </ul>	A lub B	$u_W$
<b>UWAGA</b> Ta lista składowych niepewności może nie być pełna.		
<sup>a</sup> ISO/IEC Guide 98-3.		



# ISO/TS 15530-3:2004

Uncertainty component	Method of evaluation (according to GUM)	Designation
Geometrical errors of CMM	A	assessed in a sum $u_p$
Temperature of CMM		
Drift of CMM		
Temperature of workpiece		
Systematic errors of probing system		
Repeatability of the CMM		
Scale resolution of the CMM		
Temperature gradients of the CMM		
Random errors of the probing system		
Probe changing uncertainty		
Errors induced by the procedure (clamping, handling, etc.)		
Errors induced by dirt		
Errors induced by the measuring strategy		
Calibration of the calibrated workpiece	B	$u_{cal}$
Variations among workpieces and calibrated workpiece in <ul style="list-style-type: none"> <li>— roughness</li> <li>— form</li> <li>— expansion coefficient</li> <li>— elasticity</li> </ul>	A or B	$u_w$
NOTE The list of uncertainty contributors may not be exhaustive.		



# Model pomiaru

$$Y = X + \delta_{cal} + \delta_W$$

gdzie:

$Y$  – wynik pomiaru,

$X$  - wartość wskazana przez CMM,

$\delta_{cal}$  - poprawka na błąd wzorca,

$\delta_W$  - poprawka na różnice między przedmiotami i wzorcem w:  
chropowatości, kształcie, współczynniku rozszerzalności cieplnej,  
sprężystości



# ISO/TS 15530-1

**Geometrical product specifications (GPS) — Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement**

Part 1: Overview and metrological characteristics

Wyróżnia 3 metody szacowania niepewności pomiarów współrzędnościowych:

- **sensitivity analysis**
- use of calibrated workpieces or standards (ISO 15530-3)
- use of computer simulation (ISO/TS 15530-4)



# ISO/TS 15530-1

6.2	Sensitivity analysis .....
6.3	Use of calibrated workpieces or standards (ISO 15530-3) ..
6.4	Use of computer simulation (ISO/TS 15530-4) .....

## 6.2 Sensitivity analysis

This technique is described in ISO/IEC Guide 98-3. ISO 14253-2 is a simplified and iterative implementation of this technique. Since CMMs are complex measuring instruments, directly implementing this technique may only be possible for a limited number of measuring tasks. Essentially, the technique consists of four steps.

- a) List each uncertainty source to be included in the sensitivity analysis.

NOTE There are many different ways to separate uncertainty sources; hence, two equally valid uncertainty budgets may have a different number of sources.

- b) For each uncertainty source listed, quantify its magnitude by one standard deviation (known as the standard uncertainty of the source).
- c) For each uncertainty source, determine its sensitivity coefficient and correlation with other uncertainty sources, i.e. determine its influence on the measurand.
- d) Combine the product of each standard uncertainty and its sensitivity coefficient together with any correlated uncertainty effects using the law of propagation of uncertainty.





# ISO/TS 15530-1 Sensitivity analysis (analiza wrażliwości)

W dokumencie znajdujemy stwierdzenie, że zastosowanie tej techniki jest ograniczone do bardzo prostych zadań:

„Since CMMs are complex measuring instruments, directly implementing this technique may only be possible for a limited number of measuring tasks.”

Metodyka opracowana w ATH całkowicie przeczy temu stwierdzeniu.

# Skąd sceptyczne podejście do sensitivity analysis?

Przykładowa lista czynników mających wpływ na niepewność pomiarów współrzędnościowych (wg ISO 15530-3):

- **błędy geometryczne** (geometrical errors of CMM),
- **temperatura maszyny i przedmiotu, gradienty temperatury** (temperature of CMM, temperature of workpiece, temperature gradients of the CMM),
- **dryft** (drift of CMM),
- **systematyczne i przypadkowe błędy systemu głowicy pomiarowej** (systematic errors of probing system, random errors of the probing system),
- **powtarzalność** (repeatability of the CMM),
- **rozdzielczość** (scale resolution of the CMM),
- **niepewność wymiany trzpieni** (probe changing uncertainty),
- **błędy procedury** (errors induced by the procedure as clamping, handling, etc.),
- **błędy od zanieczyszczeń** (errors induced by dirt),
- **błędy od strategii pomiaru** (errors induced by the measuring strategy).

# VDI/VDE 2617-11

ICS 17.040.30, 17.040.99

## VDI/VDE-RICHTLINIEN

März 2011  
March 2011

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

VERBAND DER  
ELEKTROTECHNIK  
ELEKTRONIK  
INFORMATIONSTECHNIK

Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten  
Kenngrößen und deren Prüfung  
Ermittlung der Unsicherheit von Messungen auf  
Koordinatenmessgeräten durch Messunsicherheitsbilanzen

Accuracy of coordinate measuring machines  
Characteristics and their checking  
Determination of the uncertainty of measurement for  
coordinate measuring machines using uncertainty budgets

### VDI/VDE 2617

Blatt 11 / Part 11

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

Determination of the uncertainty of measurement for  
coordinate measuring machines **using uncertainty budgets**



# VDI/VDE 2617-11 Sensitivity analysis (cd.)

Dokument **VDI/VDE 2617-11**, zawiera przykładowe budżety tylko dla dwóch charakterystyk:

- średnica,
- odległość osi otworu od płaszczyzny.

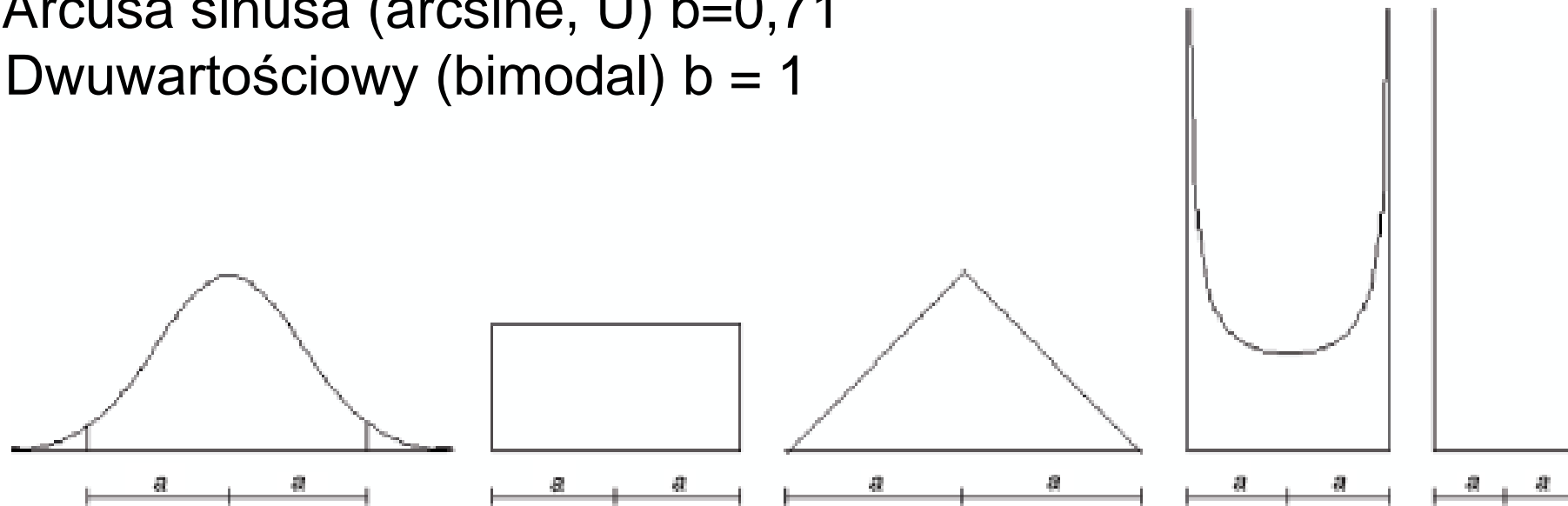
W dokumencie nie podano w sposób jawny modelu pomiaru – jedynie z faktu, że wszystkie współczynniki wrażliwości są równe 1 można wnioskować, że model pomiaru ma postać sumy algebraicznej.



# Analiza dokumentu VDI/VDE 2617:2011

W VDI/VDE bierze się pod uwagę użycie 5 rozkładów:

- Normalny (normal)  $b = 0,5$
- Jednostajny (uniform)  $b=0,58$
- Trójkątny (triangular)  $b=0,41$
- Arcusa sinusa (arcsine, U)  $b=0,71$
- Dwuwartościowy (bimodal)  $b = 1$



Source: VDI/VDE 2617:2011



# ISO/TS 15530-4

**Geometrical Product Specifications  
(GPS) — Coordinate measuring machines  
(CMM): Technique for determining the  
uncertainty of measurement —**

Part 4:

**Evaluating task-specific measurement  
uncertainty using simulation**



# ISO/TS 15530-4

The **manufacturer** of the UES shall **explicitly declare** the claimed scope of the software. This declaration shall include specifying:

- the types of CMMs for which the software is applicable;
- any CMM accessories allowed;
- which CMM errors are accounted for;
- the considered environmental conditions of both CMM and workpiece;
- the applicable probe types and accessories;
- the associated features included;
- the geometric tolerancing allowed;
- the measuring procedures and strategies covered;
- the operator effects covered;
- any other influence factors affecting the uncertainty of measurement covered by the UES.



# Analiza dokumentu ISO/TS 15530-4 (użycie symulacji)

Dokument używa ogólnego pojęcia „**uncertainty evaluating software**” (UES) – co oznacza, że dotyczy wszelkiego oprogramowania (nie tylko symulacji).

Podaje bardzo ogólne wskazówki co do modelu pomiaru oraz prosty wzór na obliczanie niepewności, którego główny składnik stanowi  $u_{sim}$  – odchylenie standardowe wyników symulacji:

$$u = \sqrt{u_{sim}^2 + \sum u_i^2}$$

„... the manufacturer shall specify, by means of the checklist, which uncertainty contributors the software claims to take into account.”

„Usually not all possible uncertainty influences are taken into account in the model. Influence quantities that have not been considered are to be evaluated by other procedures and added to the total uncertainty”

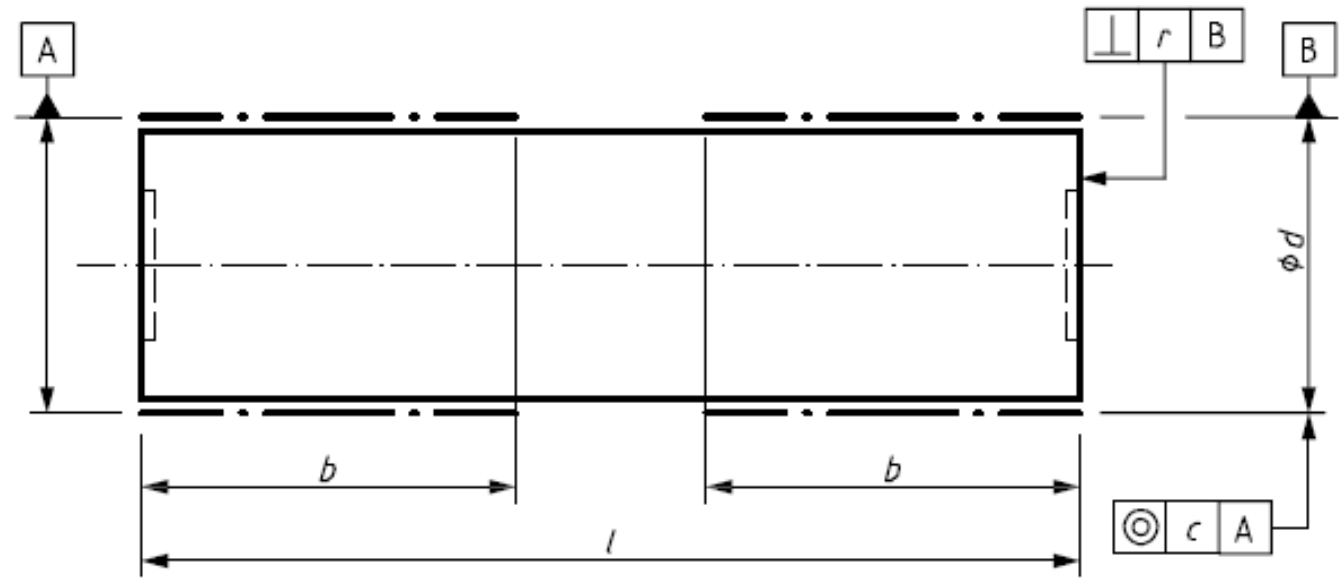
Sugeruje doświadczalną weryfikację oprogramowania przy użyciu kątownika walcowego



# Weryfikacja oprogramowania



Źródła: Mahr



$$\left| y - y_{\text{cal}} \right| / \sqrt{U_{\text{cal}}^2 + U^2} \leq 1$$

$y$  is the measurement result

$y_{\text{cal}}$  is the calibrated value

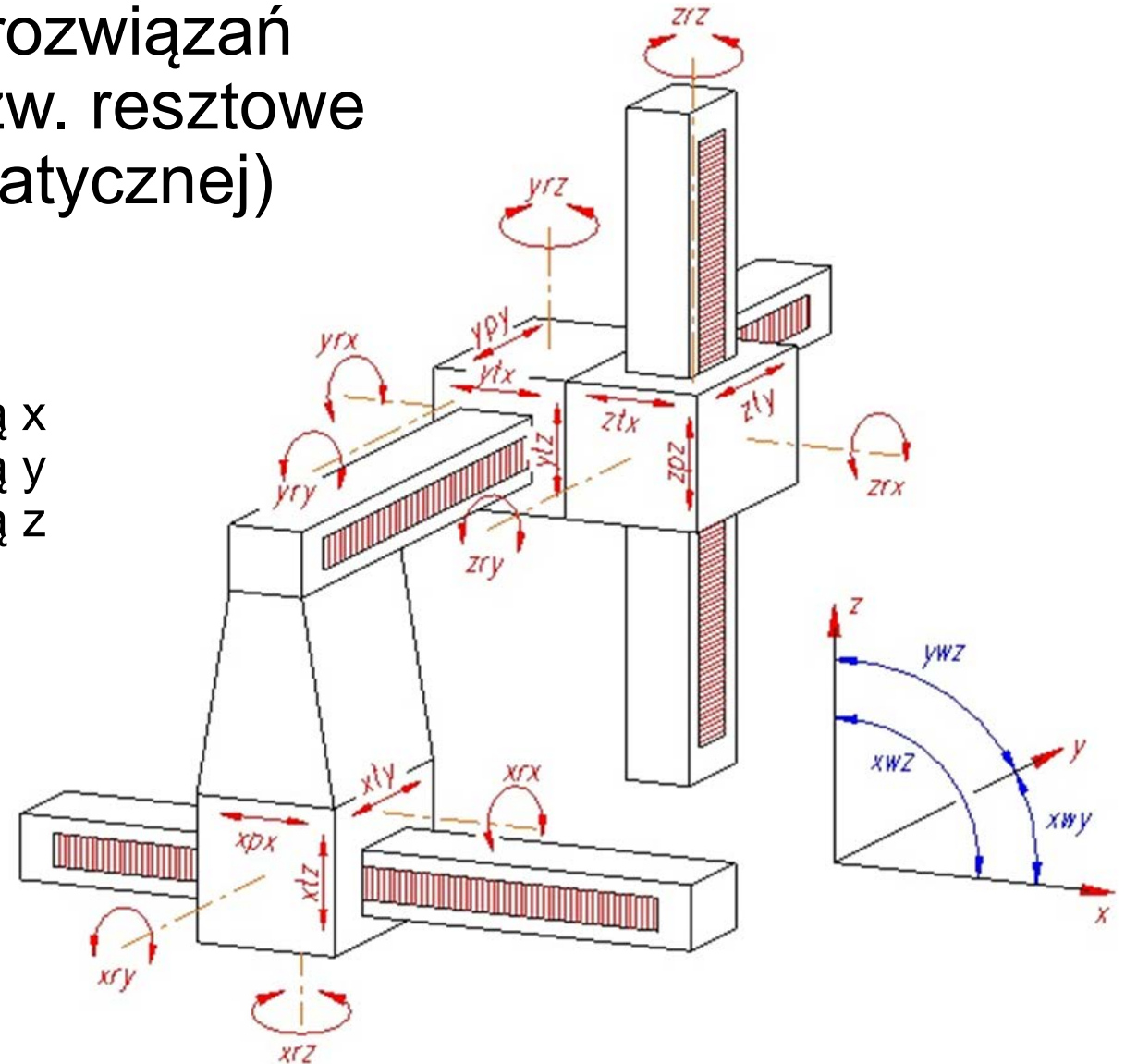
$U_{\text{cal}}$  is the expanded uncertainty of calibrated artefact

$U$  is the task specific expanded uncertainty of the measurement

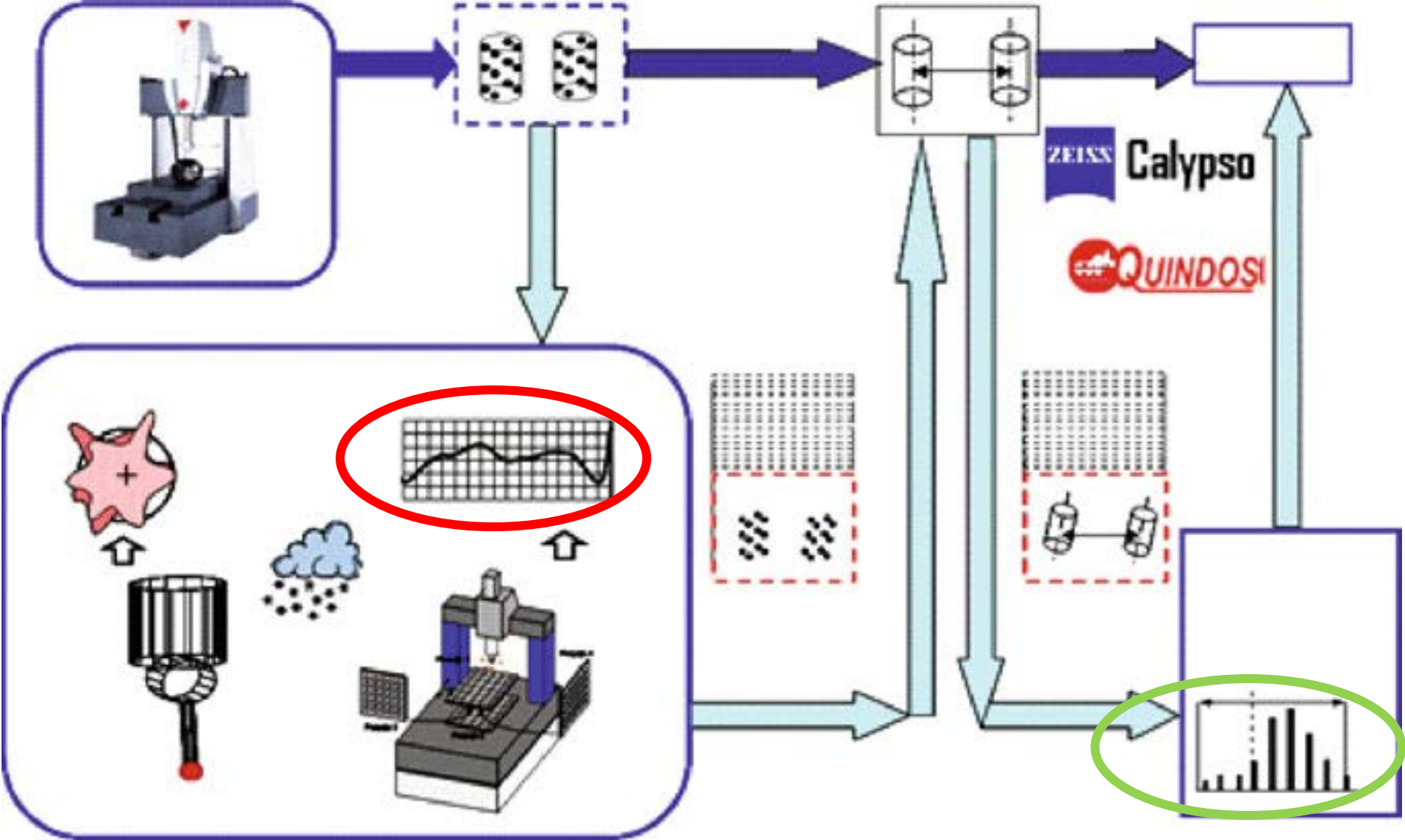
# Modele symulacyjne CMM

Modele symulacyjne klasycznych rozwiązań CMM uwzględniają kinematykę i tzw. resztowe (czyli pozostałe po korekcji matematycznej) błędy geometryczne.

$x_{px}$ ,  $x_{ty}$ ,  $x_{tz}$  – błędy translacyjne związane z osią x  
 $y_{tx}$ ,  $y_{py}$ ,  $y_{tz}$  – błędy translacyjne związane z osią y  
 $z_{tx}$ ,  $z_{ty}$ ,  $z_{pz}$  – błędy translacyjne związane z osią z  
 $x_{rx}$ ,  $x_{ry}$ ,  $x_{rz}$  – błędy rotacyjne związane z osią x  
 $y_{rx}$ ,  $y_{ry}$ ,  $y_{rz}$  – błędy rotacyjne związane z osią y  
 $z_{rx}$ ,  $z_{ry}$ ,  $z_{rz}$  – błędy rotacyjne związane z osią z  
 $x_{wy}$ ,  $x_{wz}$ ,  $y_{wz}$  – błędy kątów



# Oprogramowanie symulacyjne VCMM (PTB)



# Oprogramowanie symulacyjne PUNDIT

The screenshot displays the PUNDIT software interface for a simulation of a mechanical part. The main window shows a 3D model of a blue and orange component with a central circular feature. A callout box indicates a dimension:  $8 \times 250 \pm 0.150$  THRU, with a tolerance of  $\pm 0.010$  M L B K 0.

On the right side, a bar chart displays simulation results for various features. The x-axis labels are: 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000. The y-axis represents a numerical value, with the highest bar reaching approximately 1.00000.

At the bottom, a table provides detailed simulation data:

ID	COORD	Feature	Standard Deviation	Mean Error	Uncertainty	Geometric Constraint
0.00000	0.00000	Cylindrical Direction (C) (C) (C)	0.0000000000	-1.0000000000	0.0000000000	0%
0.00000	0.00000	Facial Direction (F) (F) (F)	0.0000000000	-1.0000000000	0.0000000000	0%
0.00000	0.00000	Facial Direction (F) (C) (C)	0.0000000000	-1.0000000000	0.0000000000	0%
0.00000	0.00000	Facial Direction (F) (C) (C)	0.0000000000	-1.0000000000	0.0000000000	0%
0.00000	0.00000	Feature Center Point (F) (C) (C)	0.0000000000	-1.0000000000	0.0000000000	0%
0.00000	0.00000	Feature Center Point (F) (C) (C)	0.0000000000	-1.0000000000	0.0000000000	0%
0.00000	0.00000	Linear Direction (L) (L) (L)	0.0000000000	-1.0000000000	0.0000000000	0%

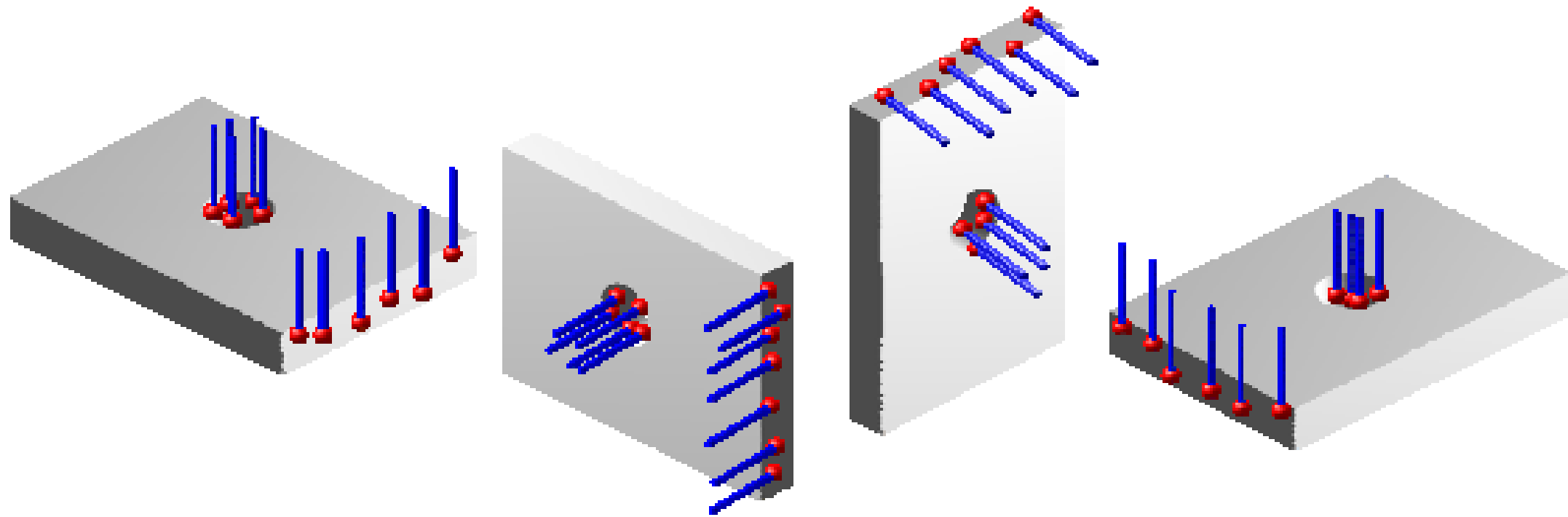


# ISO/DTS 15530-2 Use of multiple measurement strategies in measurements of artefacts

Projekt części drugiej normy dotyczy szacowania niepewności pomiarów dla specjalnej metody pomiaru, polegającej na pomiarze przedmiotu w kilku różnych orientacjach w przestrzeni CMM zwanej metodą wielopozycyjną.

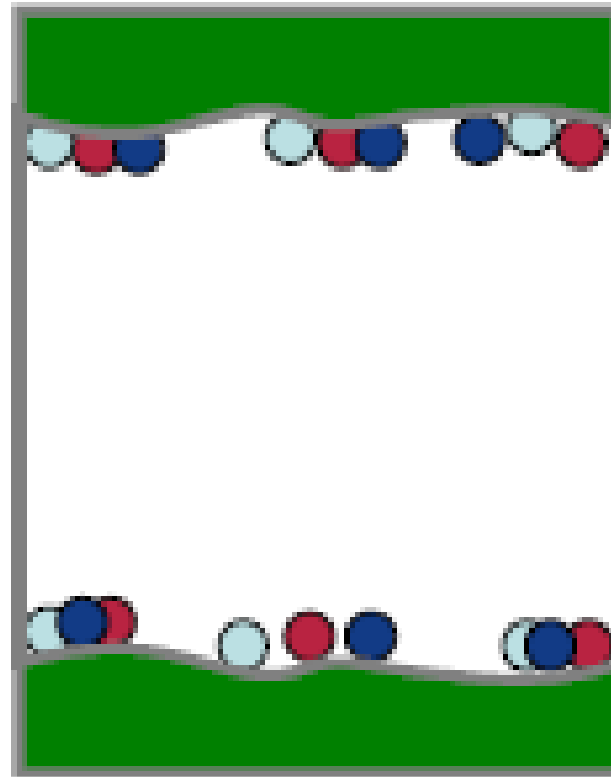
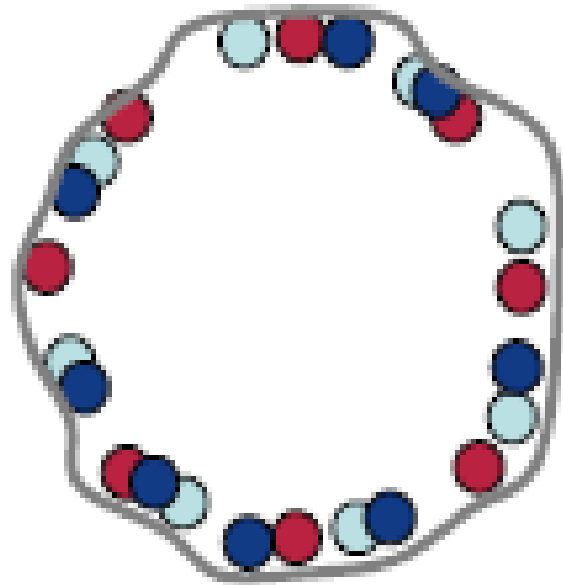


# ISO/DTS 15530-2 Use of multiple measurement strategies in measurements of artefacts





# ISO/DTS 15530-2 Use of multiple measurement strategies in measurements of artefacts





# ISO/DTS 15530-2 Use of multiple measurement strategies in measurements of artefacts

$$U = |E_D| + |E_L| + k \cdot \sqrt{U_{rep}^2 + U_{geo}^2 + U_{corrL}^2 + U_D^2 + U_{temp}^2}$$

$U$	expanded measuring uncertainty of final corrected result of the measurement
$E_D$	largest error in internal and external diameter measurements
$E_L$	average length measurement error (error of measurement of length) of the CMM in the measuring volume where the artefact is measured, for a given measured length $L$ on the artefact
$k$	coverage factor
$U_{rep}$	standard uncertainty contribution originating from repeatability, due to the repeatability of the CMM, of the choice of the point distribution, of the artefact's form and roughness, of contaminations, of handling
$U_{geo}$	standard uncertainty contribution originating from the errors of geometry of the CMM (for example from the errors of squareness, roll, yaw, pitch, straightness)
$U_{corrL}$	standard uncertainty of the correction that is applied to measurements of distance etc.
$U_D$	standard uncertainty of the probe tip diameter compensation
$U_{temp}$	standard uncertainty contribution from temperature-related effects

$|E_D|$  and/or  $|E_L|$  are only added in those cases when these length errors and/or effective probe tip diameter errors are not corrected for.





# Podsumowanie

ISO 15530 dotyczy dwóch uniwersalnych metod szacowania niepewności, a mianowicie:

- z użyciem wywzorcowanego przedmiotu,
- z użyciem symulacji.

Ponadto dotyczy szacowania niepewności dla dwóch specyficznych metod pomiaru:

- pomiar z podstawieniem,
- pomiar w kilku orientacjach (metoda wielopozycyjna).



## Na koniec pytanie

Czy MPE, a ściślej  $E(L, \text{MPE})$  (błąd graniczny dopuszczalny pomiaru długości), może być uważany (choćby w przybliżeniu) za rozszerzoną niepewność w pomiarach współrzędnościowych?

Tak, ale jedynie w odniesieniu do pomiaru długości, czyli wymiarów wewnętrznych, zewnętrznych i odległości. W żadnym wypadku nie może się to odnosić do odchyłek geometrycznych, no i oczywiście do kątów.