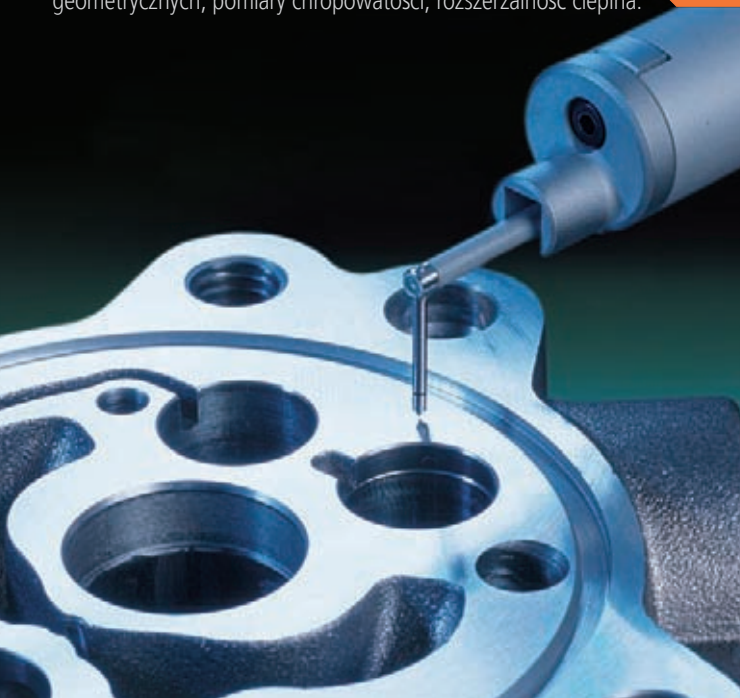


Mitutoyo

PORADNIK DLA INŻYNIERÓW

Zamiana jednostek, przeliczanie, symbole tolerancji geometrycznych, porównanie twardości, rozwiązywanie trójkątów, pomiary wielkości geometrycznych, pomiary chropowatości, rozszerzalność cieplna.

Wersja polska





Spis treści

Str.
01

	Str.
Wstęp	02
Przykłady przedmiotów o mikroskopijnych rozmiarach	04
Alfabet grecki i podstawowe symbole matematyczne	05
Rozwiązywanie trójkątów nieprostokątnych mając dane dowolne trzy elementy	06
Rozwiązywanie trójkątów prostokątnych mając dane dowolne dwa elementy	07
Pomiary wielkości geometrycznych	08
Przeliczanie jednostek miary	10
Zamiana ułamków cala na milimetry	12
Symbole tolerancji geometrycznych	19
Ściskanie kuli wzorcowej między równoległymi płaszczyznami	22
Skale twardości	23
Dokładność przyrządów pomiarowych	29
Wprowadzenie do pomiarów struktury geometrycznej powierzchni	30
Współczynniki rozszerzalności cieplnej	35
Różnica rozszerzalności cieplnej	36
Klasy płytek wzorcowych	38
Temperatury topnienia pierwiastków i stopów	40

Mimo, że dołożyliśmy wszelkich starań w celu zapewnienia dokładności danych w tym poradniku, Mitutoyo nie ponosi odpowiedzialności za ewentualne nieścisłości, które mogą wystąpić.



Oprócz wysokiej jakości wyrobów, Mitutoyo oferuje kompleksową gamę specjalistycznych usług wsparcia. Usługi te obejmują dostawę części zamiennych, naprawy, kalibrację, szkolenia, wykonywanie pomiarów na zlecenie oraz opracowanie rozwiązań pomiarowych na indywidualne zamówienie.

Zapraszamy do zapoznania się z rozwiązaniami Mitutoyo na www.mitutoyo.pl.



Wykonywanie pomiarów na zlecenie

Mitutoyo Polska sp. z o.o. przyjmuje zlecenia na wykonywanie usług pomiarowych oraz programowanie maszyn pomiarowych.



Szkolenia

Szkolenia są przeprowadzane przez doświadczonych specjalistów, posiadających gruntowną znajomość procesów produkcyjnych. Wszystkie szkolenia obejmują część teoretyczną oraz bezpośrednie ćwiczenia praktyczne.

Serwis urządzeń pomiarowych

Nasz serwis zapewnia utrzymanie parametrów metrologicznych i sprawności urządzeń podczas całego okresu ich użytkowania.

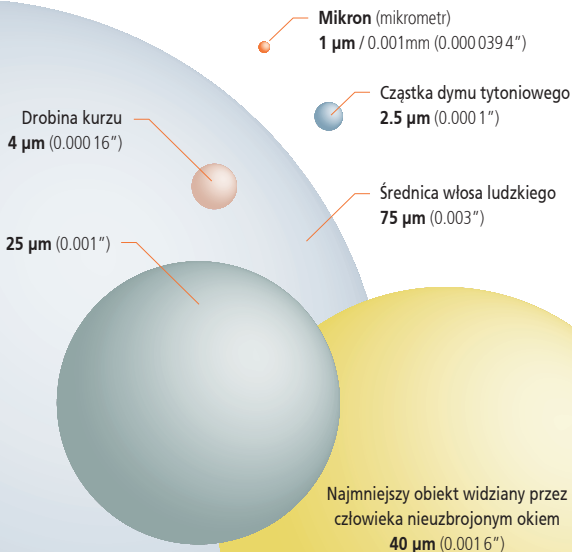


Przykłady przedmiotów o mikroskopijnych rozmiarach

Str.
04

Czy wiesz, że?

Przy zmianie temperatury z 20 °C do 30 °C, stalowa płytką wzorcowa o wymiarze 100 mm (4") zwiększa swą długość o 11 μm (0.00043").



Podziałka 1500:1

Alfabet grecki i podstawowe symbole matematyczne

Str.
05

Wielkie litery	Α	Β	Γ	Δ	Ε	Ζ	Η	Θ
Małe litery	α	β	γ	δ	ε	ζ	η	θ
Nazwa	Alfa	Beta	Gamma	Delta	Epsilon	Dzeta	Eta	Theta
Litera łacińska	a	b	g	d	e	z	h	th

Wielkie litery	Ι	Κ	Λ	Μ	Ν	Ξ	Ο	Π
Małe litery	ι	κ	λ	μ	ν	ξ	ο	π
Nazwa	Jota	Kappa	Lambda	My	Ny	Ksi	Omikron	Pi
Litera łacińska	i	k	l	m	n	x	o	p

Wielkie litery	Ρ	Σ	Τ	Υ	Φ	Χ	Ψ	Ω
Małe litery	ρ	σ	τ	υ	φ	χ	ψ	ω
Nazwa	Rho	Sigma	Tau	Ipsylon	Phi	Chi	Psi	Omega
Litera łacińska	r	s	t	u	ph	ch	ps	o

+	plus/dodawanie
-	minus/odejmowanie
±	plus lub minus
x	mnożenie/razy
÷	dzielenie
/	dzielenie
=	liczbowo równy
≡	identyczny lub równoważny
≠	różny od
≈	równy w przybliżeniu
∝	proporcjonalny do
~	około
>	większy od
<	mniejszy od
≥	większy lub równy
≤	mniejszy lub równy

>>	dużo większe od
<<	dużo mniejsze od
Σ	suma podanych składników
Π	iloczyn podanych składników
Δ	różnica skończona lub przyrost
∴	stąd
∠	kąt
//	równoległy do
⊥	prostopadły do
:	to jest
√x	pierwiastek kwadratowy x
√ ⁿ x	pierwiastek stopnia n liczby x
→	zdąży do
∞	nieskończoność

Rozwiązywanie trójkątów nieprostokątnych mając dane dowolne trzy elementy

Str.
06

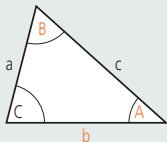
> Jeden bok i dowolne dwa kąty

$$C = 180^\circ - (A + B)$$

$$a = (b \sin A) / \sin B$$

$$c = (b \sin C) / \sin B$$

$$\text{Pole} = (b c \sin A) / 2$$



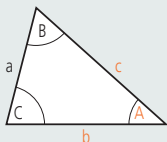
> Dwa boki i kąt między nimi

$$B = \tan^{-1} [(b \sin A) / (c - b \cos A)]$$

$$a = (b \sin A) / \sin B$$

$$C = 180^\circ - (A + B)$$

$$\text{Pole} = (b c \sin A) / 2$$



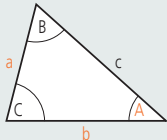
> Dwa boki i kąt przyległy

$$B = \sin^{-1} [(b \sin A) / a] *$$

$$C = 180^\circ - (A + B)$$

$$c = (a \sin C) / \sin A$$

$$\text{Pole} = (a b \sin C) / 2$$



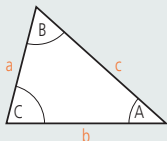
> Wszystkie boki

$$A = \cos^{-1} [(b^2 + c^2 - a^2) / 2 b c]$$

$$B = \sin^{-1} [(b \sin A) / a]$$

$$C = 180^\circ - (A + B)$$

$$\text{Pole} = (a b \sin C) / 2$$



> Wszystkie kąty: liczba rozwiązań jest nieskończona

* Jeśli $a < b$, istnieją dwa rozwiązania dla kąta B, jeden ostry, drugi rozwarty. Ich suma wynosi 180° .

Rozwiązywanie trójkątów prostokątnych mając dane dowolne dwa elementy

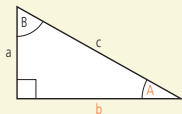
Str.
07

> Jeden kąt i bok przyległy

$$a = b \tan A$$

$$c = b / \cos A$$

$$B = 90^\circ - A$$

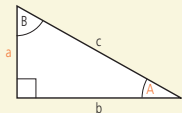


> Jeden kąt i bok przeciwległy

$$b = a / \tan A$$

$$c = a / \sin A$$

$$B = 90^\circ - A$$

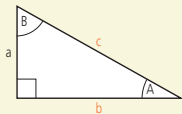


> Jeden bok i przeciwprostokątna

$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

$$A = \cos^{-1}(b/c)$$

$$B = 90^\circ - A$$

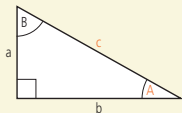


> Jeden kąt i przeciwprostokątna

$$a = c \sin A$$

$$b = c \cos A$$

$$B = 90^\circ - A$$

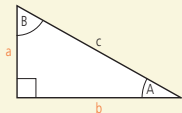


> Oba boki

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$A = \tan^{-1}(a/b)$$

$$B = 90^\circ - A$$










> Oba kąty: nieskończona liczba rozwiązań.

Uwaga:









Trójkąt prostokątny składa się z dwóch boków przyprostokątnych (a,b) i przeciwprostokątnej (c).

Pomiary wielkości geometrycznych

Str.
08

	<p>Średnica okręgu o polu równym polu kwadratu: pomnożyć długość boku kwadratu przez 1.1284</p> <p>Średnica okręgu o danym polu: pomnożyć pierwiastek kwadratowy wartości pola przez 1.1284</p> <p>Pole okręgu: pomnożyć kwadrat średnicy przez 0.78540</p> <p>Pole kuli: pomnożyć kwadrat średnicy przez 3.1416</p> <p>Objętość kuli: pomnożyć średnicę do trzeciej potęgi przez 0.52360</p>
	<p>Pole trapezu: pomnożyć połowę sumy długości boków równoległych przez wysokość</p>
	<p>Pole trójkąta: pomnożyć długość jednego boku przez połowę wysokości</p>
	<p>Pole walca: sumę długości promienia podstawy i wysokości walca pomnożyć przez długość średnicy i 3.1416</p>
	<p>Pole ostrosłupa czworokątnego: pomnożyć obwód podstawy przez połowę długości dwusiecznej kąta ściany ostrosłupa i dodać kwadrat długości boku podstawy</p> <p>Objętość ostrosłupa czworokątnego: pomnożyć kwadrat długości boku podstawy przez jedną trzecią wysokości ostrosłupa</p>
	<p>Długość boku kwadratu wpisanego w okrąg: pomnożyć długość średnicy okręgu przez 0.70711</p>
	<p>Długość boku trójkąta równobocznego wpisanego w okrąg: pomnożyć długość średnicy okręgu przez 0.86603</p>

Pomiary wielkości geometrycznych (cd.)

	Średnica okręgu wpisanego w trójkąt równoboczny: pomnożyć długość boku trójkąta przez 0.57735
	Średnica okręgu wpisanego w sześciokąt foremny: pomnożyć długość boku okręgu przez 1.7321
	Długość boku sześciokąta foremnego wpisanego w okrąg: podzielić średnicę okręgu przez 2.
	Pole sześciokąta foremnego: pomnożyć kwadrat długości boku przez 2.5981
	Pole elipsy: pomnożyć iloczyn długości obu osi przez 0.78540 Objętość elipsoidy: pomnożyć iloczyn długości trzech osi przez 0.52360
	Bok kwadratu o polu równym polu okręgu: pomnożyć długość średnicy okręgu przez 0.88623
	Pole powierzchni stożka: iloczyn długości średnicy i tworzącej stożka pomnożyć przez 1.5708 i dodać iloczyn kwadratu średnicy podstawy i liczby 0.78540. Objętość stożka: pomnożyć iloczyn kwadratu długości średnicy podstawy i wysokości stożka przez 0.26180
	Pole torusa: iloczyn długości średnicy przekroju poprzecznego i długości średnicy obrotu okręgu pomnożyć przez 9.8696 Objętość torusa: pomnożyć iloczyn kwadratu długości średnicy przekroju poprzecznego i długości średnicy obrotu okręgu przez 2.4674

Przeliczanie jednostek miary

Str.
10

W poniższej tabeli dla różnych wielkości podano ich odpowiedniki w innych jednostkach. Wartości podane czcionką pogrubioną są dokładne i wynikają z definicji, dokładność pozostałych jest określona liczbą cyfr znaczących.

Długość

1 m	1/0.0254 inch	1/0.3048 ft	100 cm	1000 mm	1/1609.344 mil
------------	----------------------	--------------------	---------------	----------------	-----------------------

Pole powierzchni

1 m²	1550.0 inch ²	10.764 ft ²	1/4047 akr	1/10⁶ km²	1/10⁴ ha
------------------------	--------------------------	------------------------	------------	--	----------------------------

Masa

1 kg	2.2046 lb	35.271 oz	1/1016.0 t	1/1000 t
-------------	-----------	-----------	------------	-----------------

Siła

1 N	1/4.448 lbf	3.597 ozf	1/9.80665 kG	101.97 G
------------	-------------	-----------	---------------------	----------

Ciśnienie

1 Pa	1 N/m²	1/6895 lbf/in ²	1/98066.5 kG/cm	1/10⁵ bar
-------------	--------------------------	----------------------------	------------------------	-----------------------------

Energia

1 J	1 N.m	1/4.184 cal	1/3.6x10⁶ kWh	1/9.80665 kG.m	1/1.356 ft.lbf
------------	--------------	-------------	---------------------------------	-----------------------	----------------

Moc

1 W	1 J/s	1/746 HP	1/1000 kW	3.412 Btu/h
------------	--------------	----------	------------------	-------------

Moment obrotowy

1 N.m	1/9.80665 kG.m	141.6 ozf.inch	1/1.356 lbf.ft	10197 G.cm
--------------	-----------------------	----------------	----------------	------------

Temperatura

T °C	(T + 273.15) K	((9T/5) + 32) °F
T °F	(5(T - 32)/9) °C	((5T/9) + 255.37) K
TK	(T - 273.15) °C	((9T/5) - 459.67) °F

Przeliczanie jednostek miary (cd.)

Str.
11

> Przykłady

1: Podać wartość siły 25 lbf w N

Z tabeli dla jednostek siły odczytujemy: $1 \text{ N} \equiv 1/4.448 \text{ lbf}$
Mnożąc obie strony równania przez 4.448 i wartość siły 25 otrzymujemy $4.448(25)1 \text{ N} \equiv (25)1 \text{ lbf}$

$$\therefore 111.2 \text{ N} \equiv 25 \text{ lbf}$$

2: Podać wartość momentu obrotowego 90 lbf.ft w kG.m

Z tabeli dla momentu obrotowego odczytujemy:
 $1/9.80665 \text{ kG.m} \equiv 1/1.356 \text{ lbf.ft}$
Mnożąc obie strony równania przez 1.356 i wartość momentu 90 otrzymujemy $1.356(90)1/9.80665 \text{ kG.m} \equiv (90)1 \text{ lbf.ft}$

$$\therefore 12.44 \text{ kG.m} \equiv 90 \text{ lbf.ft}$$

3: Podać temperaturę 75°F w °C

Z tabeli dla jednostek temperatury odczytujemy: $T^{\circ}\text{F} \equiv (5(T - 32)/9)^{\circ}\text{C}$
Podstawiając $T = 75$ otrzymujemy
 $75^{\circ}\text{F} \equiv (5(75 - 32)/9)^{\circ}\text{C}$

$$\therefore 75^{\circ}\text{F} \equiv 23.9^{\circ}\text{C}$$

Zamiana ułamków cala na milimetry

Ułamek cala	mm	Nr wiertła	Dzies. cala	Ułamek cala	mm	Nr wiertła	Dzies. cala
	0.3		0.0118		0.75		0.0295
	0.32		0.0126		0.78		0.0307
	0.343	80	0.0135		0.787	68	0.031
	0.35		0.0138	$\frac{1}{32}$	0.794		0.0312
	0.368	79	0.0145		0.8		0.0315
	0.38		0.015		0.813	67	0.032
$\frac{1}{64}$	0.397		0.0156		0.82		0.0323
	0.4		0.0157		0.838	66	0.033
	0.406	78	0.016		0.85		0.0335
	0.42		0.0165		0.88		0.0346
	0.45		0.0177		0.889	65	0.035
	0.457	77	0.018		0.9		0.0354
	0.48		0.0189		0.914	64	0.036
	0.5		0.0197		0.92		0.0362
	0.508	76	0.02		0.94	63	0.037
	0.52		0.0205		0.95		0.0374
	0.533	75	0.021		0.965	62	0.038
	0.55		0.0217		0.98		0.0386
	0.572	74	0.0255		0.991	61	0.039
	0.58		0.0228		1.0		0.0394
	0.6		0.0236		1.016	60	0.04
	0.61	73	0.024		1.041	59	0.041
	0.62		0.0244		1.05		0.0413
	0.635	72	0.025		1.067	58	0.042
	0.65		0.0256		1.092	57	0.043
	0.66	71	0.026		1.1		0.0433
	0.68		0.0268		1.15		0.0453
	0.7		0.0276		1.181	56	0.0465
	0.711	70	0.028	$\frac{3}{64}$	1.191		0.0469
	0.72		0.0283		1.2		0.0472
	0.742	69	0.0292		1.25		0.0492

Zamiana ułamków cala na milimetry (cd.)

Ułamek cala	mm	Nr wiertła	Dzies. cala	Ułamek cala	mm	Nr wiertła	Dzies. cala
	1.3		0.0512		2.184	44	0.086
	1.321	55	0.052		2.2		0.0866
	1.35		0.0532		2.25		0.0886
	1.397	54	0.055		2.261	43	0.089
	1.4		0.0551		2.3		0.0906
	1.45		0.0571		2.35		0.0925
	1.5		0.0591		2.375	42	0.0935
	1.511	53	0.0595	$\frac{3}{32}$	2.381		0.0938
	1.55		0.061		2.4		0.0945
$\frac{1}{16}$	1.588		0.0625		2.438	41	0.096
	1.6		0.063		2.45		0.0965
	1.613	52	0.0635		2.489	40	0.098
	1.65		0.065		2.5		0.0984
	1.7		0.0669		2.527	39	0.0995
	1.702	51	0.067		2.55		0.1004
	1.75		0.0689		2.578	38	0.1015
	1.778	50	0.07		2.6		0.1024
	1.8		0.0709		2.642	37	0.104
	1.85		0.0728		2.65		0.1043
	1.854	49	0.073		2.7		0.1063
	1.9		0.0748		2.705	36	0.1065
	1.93	48	0.076		2.75		0.1083
	1.95		0.0768	$\frac{7}{64}$	2.778		0.1094
$\frac{5}{64}$	1.984		0.0781		2.794	35	0.11
	1.994	47	0.0785		2.8		0.1102
	2.0		0.0787		2.819	34	0.111
	2.05		0.0807		2.85		0.1122
	2.057	46	0.081		2.87	33	0.113
	2.083	45	0.082		2.9		0.1142
	2.1		0.0827		2.946	32	0.116
	2.15		0.0846		2.95		0.1161

Zamiana ułamków cala na milimetry (cd.)

Ułamek cala	mm	Nr wiertła	Dzies. cala	Ułamek cala	mm	Nr wiertła	Dzies. cala
	3.0		0.1181		4.25		0.1673
	3.048	31	0.12		4.3		0.1693
	3.1		0.122		4.305	18	0.1695
$\frac{1}{8}$	3.175		0.125	$\frac{11}{64}$	4.366		0.1719
	3.2		0.126		4.394	17	0.173
	3.25		0.128		4.4		0.1732
	3.264	30	0.1285		4.496	16	0.177
	3.3		0.1299		4.5		0.1772
	3.4		0.1339		4.572	15	0.18
	3.454	29	0.136		4.6		0.1811
	3.5		0.1378		4.623	14	0.182
	3.569	28	0.1405		4.7	13	0.185
$\frac{9}{64}$	3.572		0.1406		4.75		0.187
	3.6		0.1417	$\frac{3}{16}$	4.762		0.1875
	3.658	27	0.144		4.8	12	0.189
	3.7		0.1457		4.851	11	0.191
	3.734	26	0.147		4.9		0.1929
	3.75		0.1476		4.915	10	0.1935
	3.797	25	0.1495		4.978	9	0.196
	3.8		0.1496		5.0		0.1968
	3.861	24	0.152		5.055	8	0.199
	3.9		0.1535		5.1		0.2008
	3.912	23	0.154		5.105	7	0.201
$\frac{5}{32}$	3.969		0.1562	$\frac{13}{64}$	5.159		0.2031
	3.988	22	0.157		5.182	6	0.204
	4.0		0.1575		5.2		0.2047
	4.039	21	0.159		5.22	5	0.2055
	4.089	20	0.161		5.25		0.2067
	4.1		0.1614		5.3		0.2087
	4.2		0.1654		5.309	4	0.209
	4.216	19	0.166		5.4		0.2126

Zamiana ułamków cala na milimetry (cd.)

Ułamek cala	mm	Nr wiertła	Dzies. cala	Ułamek cala	mm	Nr wiertła	Dzies. cala
	5.41	3	0.213		6.9		0.2717
	5.5		0.2165		6.909	I	0.272
$7/32$	5.556		0.2188		7.0		0.2756
	5.6		0.2205		7.036	J	0.277
	5.613	2	0.221		7.1		0.2795
	5.7		0.2244		7.137	K	0.281
	5.75		0.2264	$9/32$	7.144		0.2812
	5.791	1	0.228		7.2		0.2835
	5.8		0.2283		7.25		0.2854
	5.9		0.2323		7.3		0.2874
	5.944	A	0.234		7.366	L	0.29
$15/64$	5.953		0.2344		7.4		0.2913
	6.0		0.2362		7.493	M	0.295
	6.045	B	0.238		7.5		0.2953
	6.1		0.2402	$19/64$	7.541		0.2969
	6.147	C	0.242		7.6		0.2992
	6.2		0.2441		7.671	N	0.302
	6.248	D	0.246		7.7		0.3032
	6.25		0.2461		7.75		0.3051
	6.3		0.248		7.8		0.3071
$1/4$	6.35	E	0.25		7.9		0.311
	6.4		0.252	$5/16$	7.938		0.3125
	6.5		0.2559		8.0		0.315
	6.528	F	0.257		8.026	O	0.316
	6.6		0.2598		8.1		0.3189
	6.629	G	0.261		8.2		0.3228
	6.7		0.2638		8.204	P	0.323
$17/64$	6.747		0.2656		8.25		0.3248
	6.75		0.2657		8.3		0.3268
	6.756	H	0.266	$21/64$	8.334		0.3281
	6.8		0.2677		8.4		0.3307

Zamiana ułamków cala na milimetry (cd.)

Ułamek cala	mm	Nr wiertła	Dzies. cala	Ułamek cala	mm	Nr wiertła	Dzies. cala
	8.433	Q	0.332		10.1		0.3976
	8.5		0.3346		10.2		0.4016
	8.6		0.3386		10.25		0.4035
	8.611	R	0.339		10.262	Y	0.404
	8.7		0.3425		10.3		0.4055
$\frac{11}{32}$	8.731		0.3438	$\frac{13}{32}$	10.319		0.4062
	8.75		0.3445		10.4		0.4094
	8.8		0.3465		10.49	Z	0.413
	8.839	S	0.348		10.5		0.4134
	8.9		0.3504		10.6		0.4173
	9.0		0.3543		10.7		0.4213
	9.093	T	0.358	$\frac{27}{64}$	10.716		0.4219
	9.1		0.3583		10.75		0.4232
$\frac{23}{64}$	9.128		0.3594		10.8		0.4252
	9.2		0.3622		10.9		0.4291
	9.25		0.3642		11.0		0.4331
	9.3		0.3661		11.1		0.437
	9.347	U	0.368	$\frac{7}{16}$	11.112		0.4375
	9.4		0.3701		11.2		0.4409
	9.5		0.374		11.25		0.4429
$\frac{3}{8}$	9.525		0.375		11.3		0.4449
	9.576	V	0.377		11.4		0.4488
	9.6		0.378		11.5		0.4528
	9.7		0.3819	$\frac{29}{64}$	11.509		0.4531
	9.75		0.3239		11.6		0.4567
	9.8		0.3858		11.7		0.4606
	9.804	W	0.386		11.75		0.4626
	9.9		0.3898		11.8		0.4646
$\frac{25}{64}$	9.922		0.3906		11.9		0.4685
	10.0		0.3937	$\frac{15}{32}$	11.906		0.4688
	10.084	X	0.397		12.0		0.4724

Zamiana ułamków cala na milimetry (cd.)

Ułamek cala	mm	Nr wiertła	Dzies. cala	Ułamek cala	mm	Nr wiertła	Dzies. cala
	12.1		0.4764	$\frac{37}{64}$	14.684		0.5781
	12.2		0.4803		14.75		0.5807
	12.25		0.4823		15.0		0.5906
	12.3		0.4843	$\frac{19}{32}$	15.081		0.5938
$\frac{31}{64}$	12.303		0.4844		15.25		0.6004
	12.4		0.4882	$\frac{39}{64}$	15.478		0.6094
	12.5		0.4921		15.5		0.6102
	12.6		0.4961		15.75		0.6201
$\frac{1}{2}$	12.7		0.5	$\frac{5}{8}$	15.875		0.625
	12.75		0.502		16.0		0.6299
	12.8		0.5039		16.25		0.6398
	12.9		0.5079	$\frac{41}{64}$	16.272		0.6406
	13.0		0.5118		16.5		0.6496
$\frac{33}{64}$	13.097		0.5156	$\frac{21}{32}$	16.669		0.6562
	13.1		0.5157		16.75		0.6594
	13.2		0.5197		17.0		0.6693
	13.25		0.5217	$\frac{43}{64}$	17.066		0.6719
	13.3		0.5236		17.25		0.6791
	13.4		0.5276	$\frac{11}{16}$	17.462		0.6875
$\frac{17}{32}$	13.494		0.5312		17.5		0.689
	13.5		0.5315		17.75		0.6988
	13.6		0.5354	$\frac{45}{64}$	17.859		0.7031
	13.7		0.5394		18.0		0.7087
	13.75		0.5413		18.25		0.7185
	13.8		0.5433	$\frac{23}{32}$	18.256		0.7188
$\frac{35}{64}$	13.891		0.5469		18.5		0.7283
	13.9		0.5472	$\frac{47}{64}$	18.653		0.7344
	14.0		0.5512		18.75		0.7382
	14.25		0.561		19.0		0.748
$\frac{9}{16}$	14.288		0.5625	$\frac{3}{4}$	19.05		0.75
	14.5		0.5709		19.25		0.7579

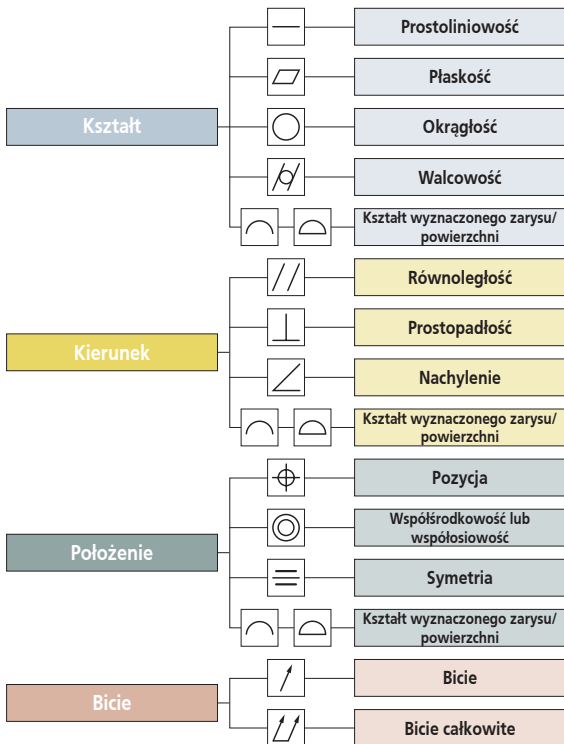
Zamiana ułamków cala na milimetry (cd.)

Ułamek cala	mm	Nr wiertła	Dzies. cala
$\frac{49}{64}$	19.447		0.7656
	19.5		0.7677
	19.75		0.7776
$\frac{25}{32}$	19.844		0.7812
	20.0		0.7874
$\frac{51}{64}$	20.241		0.7969
	20.25		0.7972
	20.422		0.804
	20.5		0.8071
$\frac{13}{16}$	20.638		0.8125
	20.75		0.8169
	21.0		0.8268
$\frac{53}{64}$	21.034		0.8281
	21.25		0.8366
$\frac{27}{32}$	21.431		0.8438
	21.5		0.8465
	21.75		0.8563
$\frac{55}{64}$	21.828		0.8594
	22.0		0.8661
$\frac{7}{8}$	22.225		0.875
	22.25		0.876
	22.5		0.8858
$\frac{57}{64}$	22.622		0.8906
	22.75		0.8957
	23.0		0.9055
$\frac{29}{32}$	23.019		0.9062
	23.25		0.9154
$\frac{59}{64}$	23.416		0.9219
	23.5		0.9252
	23.75		0.935
$\frac{15}{16}$	23.812		0.9375

Ułamek cala	mm	Nr wiertła	Dzies. cala
	24.0		0.9449
$\frac{61}{64}$	24.209		0.9531
	24.25		0.9547
	24.5		0.9646
$\frac{31}{32}$	24.606		0.9688
	24.75		0.9744
	25.0		0.9843
$\frac{63}{64}$	25.003		0.9844
	25.25		0.9941
1	25.4		1.0
	25.5		1.0039
	25.75		1.0138
$1\frac{1}{64}$	25.797		1.0156
	26.0		1.0236
$1\frac{1}{32}$	26.194		1.0312
	26.25		1.0335
	26.5		1.0433
$1\frac{3}{64}$	26.591		1.0469
	26.75		1.0531
$1\frac{1}{16}$	26.988		1.0625
	27.0		1.063
	27.25		1.0728
$1\frac{5}{64}$	27.384		1.0781
	27.5		1.0827
	27.75		1.0925
$1\frac{3}{32}$	27.781		1.0938

Symbole tolerancji geometrycznych

Str.
19



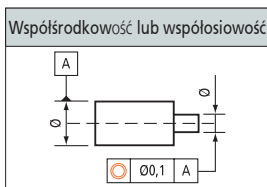
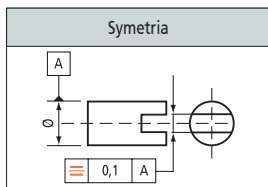
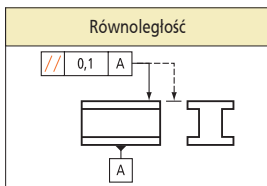
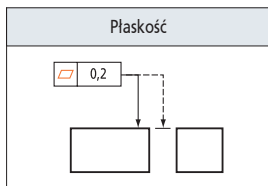
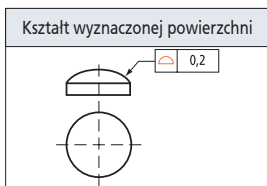
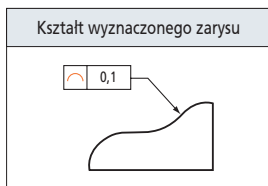
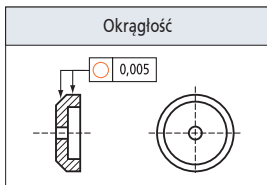
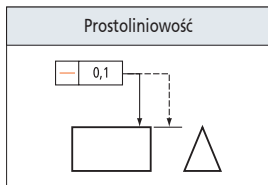
Uwaga:

Szczegółowe informacje podano w normie: PN-EN ISO 1101:2005 Specyfikacja geometrii wyrobów (GPS) - Tolerancje geometryczne - Tolerancje kształtu, kierunku, położenia i bicia.

Symboly tolerancji geometrycznych (cd.)

Str.
20

> Przykłady

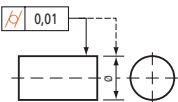


Symbole tolerancji geometrycznych (cd.)

Str.
21

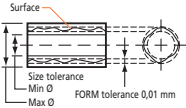
> Przykłady interpretacji

Walcowość



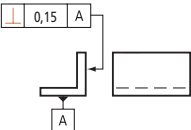
The diagram shows a cylindrical part with a feature control frame containing the form tolerance symbol for circular runout (a single arrow) and a tolerance value of 0,01. A dashed line indicates the tolerance zone, which is a cylindrical shell around the nominal surface.

Interpretacja: powierzchnia leżąca między dwoma współosiowymi cylindrami, których promień różni się o 0,01 mm



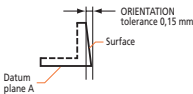
This diagram illustrates the tolerance zone for circular runout. It shows a cylindrical part with a feature control frame containing the circular runout symbol and a tolerance of 0,01 mm. The tolerance zone is defined as the region between two concentric cylinders with radii that differ by 0,01 mm. Labels include 'Surface', 'Size tolerance Min Ø', 'Max Ø', and 'FORM tolerance 0,01 mm'.

Prostopadłość



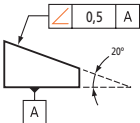
The diagram shows a stepped shaft with a feature control frame containing the perpendicularity symbol (a vertical line with a perpendicular tick), a tolerance of 0,15 mm, and datum A. Datum A is the base surface of the shaft.

Interpretacja: powierzchnia leżąca między dwoma równoległymi powierzchniami odległymi od siebie o 0,15 mm i prostopadłymi do powierzchni bazowej A



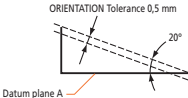
This diagram illustrates the tolerance zone for perpendicularity. It shows a stepped shaft with a feature control frame containing the perpendicularity symbol, a tolerance of 0,15 mm, and datum A. The tolerance zone is defined as the region between two parallel planes that are perpendicular to datum A and separated by a distance of 0,15 mm. Labels include 'ORIENTATION tolerance 0,15 mm', 'Surface', and 'Datum plane A'.

Nachylenie



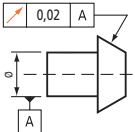
The diagram shows a tapered shaft with a feature control frame containing the angularity symbol (a triangle), a tolerance of 0,5 mm, and datum A. Datum A is the base surface of the shaft. The tolerance zone is shown as a conical shell around the nominal surface.

Interpretacja: powierzchnia leżąca między dwoma równoległymi powierzchniami odległymi od siebie o 0,5 mm i ustawionymi pod kątem 20° do powierzchni bazowej A



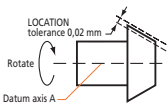
This diagram illustrates the tolerance zone for angularity. It shows a tapered shaft with a feature control frame containing the angularity symbol, a tolerance of 0,5 mm, and datum A. The tolerance zone is defined as the region between two parallel planes that are oriented at a 20° angle to datum A and separated by a distance of 0,5 mm. Labels include 'ORIENTATION Tolerance 0,5 mm', 'Datum plane A', and '20°'.

Bicie



The diagram shows a cylindrical part with a feature control frame containing the circular runout symbol (a double arrow), a tolerance of 0,02 mm, and datum A. Datum A is the axis of the base of the part.

Interpretacja: Linia zaobserwowowana w każdym przekroju płaszczyzną prostopadłą do osi bazowej A powinna zawierać się między dwoma leżącymi na jednej płaszczyźnie okręgami współśrodkowymi o różnicy promieni 0,02 mm

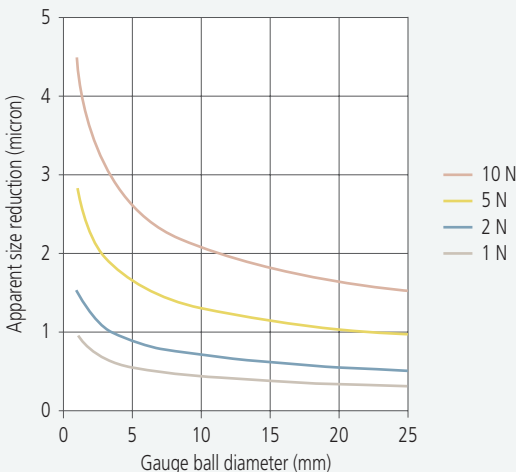


This diagram illustrates the tolerance zone for circular runout. It shows a cylindrical part with a feature control frame containing the circular runout symbol, a tolerance of 0,02 mm, and datum A. The tolerance zone is defined as the region between two concentric circles that are perpendicular to datum A. Labels include 'LOCATION tolerance 0,02 mm', 'Rotate', and 'Datum axis A'.

Ściskanie kuli wzorcowej między równoległymi płaszczyznami

Str.
22

Poniższy wykres pokazuje pozorne zmniejszenie się średnicy stalowej kuli wzorcowej pod wpływem sprężystego ściskania, zmierzone między równoległymi, stalowymi szczękami, pod działaniem stałego nacisku pomiarowego.



Jak widać z rysunku, dla kuli stalowej mierzonej między stalowymi szczękami wpływ ten rośnie wraz ze wzrostem przyłożonego nacisku pomiarowego i zmniejszaniem się średnicy kuli. Ze względu na różnice własności materiałów, wykres należy traktować jako przybliżony. Dla szczęk (lub kuli) wykonanej z węgla wolframu wpływ ten jest nieco mniejszy.

Skale twardości

Str.
23



Wyniki pomiarów twardości zależą od wybranej metody pomiarowej. Poniższe tabele pokazują odpowiednie wartości dla najczęściej stosowanych metod pomiaru twardości w poszczególnych skalach.

> Stale hartowane i stopy twarde

VICKERS HV/10	ROCKWELL			ROCKWELL SUPERFICIAL			BRINELL 3000 kG	Wytrzym. na rozciąganie N/mm ²
	A 60 kG węglenik diamentowy	C 150 kG diamentowy	D 100 kG węglenik diamentowy	15N 15 kG	30N 30 kG	45N 45 kG		
240	60.7	20.3	40.3	69.6	41.7	19.9	224	770
245	61.2	21.3	41.1	70.1	42.5	21.1	230	785
250	61.6	22.2	41.7	70.6	43.4	22.2	236	800
255	62.0	23.1	42.2	71.1	44.2	23.2	242	820

Skale twardości (cd.)

VICKERS HV/10	ROCKWELL			ROCKWELL SUPERFICIAL			BRINELL 3000 kG	Wytrzym. na rozciąganie N/mm ²
	A 60 kG węglenik diamentowy	C 150 kG węglenik diamentowy	D 100 kG węglenik diamentowy	15N 15 kG węglenik diamentowy	30N 30 kG węglenik diamentowy	45N 45 kG węglenik diamentowy		
260	62.4	24.0	43.1	71.6	45.0	24.3	247	835
265	62.7	24.8	43.7	72.1	45.7	25.2	252	850
270	63.1	25.6	44.3	72.6	46.4	26.2	257	865
275	63.5	26.4	44.9	73.0	47.2	27.1	261	880
280	63.8	27.1	45.3	73.4	47.8	27.9	266	900
285	64.2	27.8	46.0	73.8	48.4	28.7	271	915
290	64.5	28.5	46.5	74.2	49.0	29.5	276	930
295	64.8	29.2	47.1	74.6	49.7	30.4	280	950
300	65.2	29.8	47.5	74.9	50.2	31.1	285	965
310	65.8	31.0	48.4	75.6	51.3	32.5	295	995
320	66.4	32.2	49.4	76.2	52.3	33.9	304	1030
330	67.0	33.3	50.2	76.8	53.6	35.2	314	1060
340	67.6	34.4	51.1	77.4	54.4	36.5	323	1095
350	68.1	35.5	51.9	78.0	55.4	37.8	333	1125
360	68.7	36.6	52.8	78.6	56.4	39.1	342	1155
370	69.2	37.7	53.6	79.2	57.4	40.4	352	1190
380	69.8	38.8	54.4	79.8	58.4	41.7	361	1220
390	70.3	39.8	55.3	80.3	59.3	42.9	371	1225
400	70.8	40.8	56.0	80.8	60.2	44.1	380	1290
410	71.4	41.8	56.8	81.4	61.1	45.3	390	1320
420	71.8	42.7	57.5	81.8	61.9	46.4	399	1350
430	72.3	43.6	58.2	82.3	62.7	47.4	409	1385
440	72.8	44.5	58.8	82.8	63.5	48.4	418	1420
450	73.3	45.3	59.4	83.2	64.3	49.4	428	1455
460	73.6	46.1	60.1	83.6	64.9	50.4	437	1485
470	74.1	46.9	60.7	83.9	65.7	51.3	447	1520
480	74.5	47.7	61.3	84.3	66.4	52.2	(456)	1555
490	74.9	48.4	61.6	84.7	67.1	53.1	(466)	1595
500	75.3	49.1	62.2	85.0	67.7	53.9	(475)	1630

Skale twardości (cd.)

VICKERS HV/10	ROCKWELL			ROCKWELL SUPERFICIAL			BRINELL 3000 kG	Wytrzym. na rozciąganie N/mm ²
	A 60 kG węglenik diamentowy	C 150 kG węglenik diamentowy	D 100 kG węglenik diamentowy	15N 15 kG węglenik diamentowy	30N 30 kG węglenik diamentowy	45N 45 kG węglenik diamentowy		
510	75.7	49.8	62.9	85.4	68.3	54.7	(485)	1665
520	76.1	50.5	63.5	85.7	69.0	55.6	(494)	1700
530	76.4	51.1	63.9	86.0	69.5	56.2	(504)	1740
540	76.7	51.7	64.4	86.3	70.0	57.0	(513)	1775
550	77.0	52.3	64.8	86.6	70.5	57.8	(523)	1810
560	77.4	53.0	65.4	86.9	71.2	58.6	(532)	1845
570	77.8	53.6	65.8	87.2	71.7	59.3	(542)	1880
580	78.0	54.1	66.2	87.5	72.1	59.9	(551)	1920
590	78.4	54.7	66.7	87.8	72.7	60.5	(561)	1955
600	78.6	55.2	67.0	88.0	73.2	61.2	(570)	1995
610	78.9	55.7	67.5	88.2	73.7	61.7	(580)	2030
620	79.2	56.3	67.9	88.5	74.2	62.4	(589)	2070
630	79.5	56.8	68.3	88.8	74.6	63.0	(599)	2105
640	79.8	57.3	68.7	89.0	75.1	63.5	(608)	2145
650	80.0	57.8	69.0	89.2	75.5	64.1	(618)	2180
660	80.3	58.3	69.4	89.5	75.9	64.7	—	—
670	80.6	58.8	69.8	89.7	76.4	65.3	—	—
680	80.8	59.2	70.1	89.8	76.8	65.7	—	—
690	81.1	59.7	70.5	90.1	77.2	66.2	—	—
700	81.3	60.1	70.8	90.3	77.6	66.7	—	—
720	81.8	61.0	71.5	90.7	78.4	67.7	—	—
740	82.2	61.8	72.1	91.0	79.1	68.6	—	—
760	82.6	62.5	72.6	91.2	79.7	69.4	—	—
780	83.0	63.3	73.3	91.5	80.4	70.2	—	—
800	83.4	64.0	73.8	91.8	81.1	71.0	—	—
820	83.8	64.7	74.3	92.1	81.7	71.8	—	—
840	84.1	65.3	74.8	92.3	82.2	72.2	—	—
860	84.4	65.9	75.3	92.5	82.7	73.1	—	—
880	84.7	66.4	75.7	92.7	83.1	73.6	—	—

Skale twardości (cd.)

Str.
26

VICKERS HV/10	ROCKWELL			ROCKWELL SUPERFICIAL			BRINELL 3000 kG	Wytrzym. na rozciąganie N/mm ²
	A 60 kG węglenik diamentowy	C 150 kG węglenik diamentowy	D 100 kG węglenik diamentowy	15N 15 kG węglenik diamentowy	30N 30 kG węglenik diamentowy	45N 45 kG węglenik diamentowy		
900	85.0	67.0	76.1	92.9	83.6	74.2	—	—
920	85.3	67.5	76.5	93.0	84.0	74.8	—	—
940	85.6	68.0	76.9	93.2	84.4	75.4	—	—

> Stal niehartowana i większość metali nieżelaznych

B 10 kG Kulka 1/16"	ROCKWELL			ROCKWELL SUPERFICIAL			VICKERS HV/10	BRINELL 3000 kG Kulka 10 mm
	A 60 kG wgł. diam.	F 60 kG Kulka 1/16"	E 100 kG Kulka 1/8"	15T 15 kG Kulka 1/16"	30T 30 kG Kulka 1/16"	45T 45 kG Kulka 1/16"		
100	61.5	—	—	93.1	83.1	72.9	240	224
99	60.9	—	—	92.8	82.5	71.9	234	218
98	60.2	—	—	92.5	81.8	70.9	228	212
97	59.5	—	—	92.1	81.1	69.9	222	208
96	58.9	—	—	91.8	80.4	68.9	216	205
95	58.3	—	—	91.5	79.8	67.9	210	201
94	57.6	—	—	91.2	79.1	66.9	205	196
93	57.0	—	—	90.8	78.4	65.9	200	193
92	56.4	—	—	90.5	77.8	64.8	195	189
91	55.8	—	—	90.2	77.1	63.8	190	182
90	55.2	—	—	89.9	76.4	62.8	185	177
89	54.6	—	—	89.5	75.8	61.8	180	172
88	54.0	—	—	89.2	75.1	60.8	176	165
87	53.4	—	—	88.9	74.4	59.8	172	165
86	52.8	—	—	88.6	73.8	58.8	169	163
85	52.3	—	—	88.2	73.1	57.8	165	160
84	51.7	—	—	87.9	72.4	56.8	162	157
83	51.1	—	—	87.6	71.8	55.8	159	155

Skale twardości (cd.)

Str.
27

B 10kG Kulka 1/16"	ROCKWELL			ROCKWELL SUPERFICIAL			VICKERS HV10	BRINELL 3000kG Kulka 10 mm
	A 60kG wgł. diam.	F 60kG Kulka 1/16"	E 100kG Kulka 1/8"	15T 15kG	30T 30kG	45T 45kG		
				Kulka 1/16"				
82	50.6	—	—	87.3	71.1	54.8	156	153
81	50.0	—	—	86.9	70.4	53.8	153	151
80	49.5	—	—	86.6	69.7	52.8	150	149
79	48.9	—	—	86.3	69.1	51.8	147	146
78	48.4	—	—	86.0	68.4	50.8	144	144
77	47.9	—	—	85.6	67.7	49.8	141	141
76	47.3	—	—	85.3	67.1	48.8	139	139
75	46.8	99.6	—	85.0	66.4	47.8	137	137
74	46.3	99.1	—	84.7	65.7	46.8	135	135
73	45.8	98.5	—	84.3	65.1	45.8	132	132
72	45.3	98.0	—	84.0	64.4	44.8	130	130
71	44.8	97.4	100.0	83.7	63.7	43.8	127	128
70	44.3	96.8	99.5	83.4	63.1	42.8	127	127
69	43.8	96.2	99.0	83.0	62.4	41.8	125	125
68	43.3	95.6	98.0	82.7	61.7	40.8	123	123
67	42.8	95.1	97.5	82.4	61.0	39.8	121	121
66	42.3	94.5	97.0	82.1	60.4	38.7	119	119
65	41.8	93.9	96.0	81.8	59.7	37.7	117	117
64	41.4	93.4	95.5	81.4	59.0	36.7	116	116
63	40.9	92.8	95.0	81.1	58.4	35.7	114	114
62	40.4	92.2	94.5	80.8	57.7	34.7	112	110
61	40.0	91.7	93.5	80.5	57.0	33.7	110	107
60	39.5	91.1	93.0	80.1	56.4	32.7	108	106
59	39.0	90.5	92.5	79.8	55.7	31.7	107	104
58	38.6	90.0	92.0	79.5	55.0	30.7	106	102
57	38.1	89.4	91.0	79.2	54.4	29.7	104	99
56	37.7	88.8	90.5	78.8	53.7	28.7	103	—
55	37.2	88.2	90.0	78.5	53.0	27.7	101	—
54	36.8	87.7	89.5	78.2	52.4	26.7	100	—

Skale twardości (cd.)

B 10kG Kulka 1/16"	ROCKWELL			ROCKWELL SUPERFICIAL			VICKERS HV10	BRINELL 3000kG Kulka 10 mm
	A 60kG wgł. diam.	F 60kG Kulka 1/16"	E 100kG Kulka 1/8"	15T 15kG Kulka 1/16"	30T 30kG Kulka 1/16"	45T 45kG		
53	36.3	87.1	89.0	77.9	51.7	25.7	—	—
52	35.9	86.5	88.0	77.5	51.0	24.7	—	—
51	35.5	86.0	87.5	77.2	50.3	23.7	—	—
50	35.0	85.4	87.0	76.9	49.7	22.7	—	—
49	34.6	84.8	86.5	76.6	49.0	21.7	—	—
48	34.1	84.3	85.5	76.2	48.3	20.7	—	—
47	33.7	83.7	85.0	75.9	47.7	19.7	—	—
46	33.3	83.1	84.5	75.6	47.0	18.7	—	—
45	32.9	82.6	84.0	75.3	46.3	17.7	—	—
44	32.4	82.0	83.5	74.9	45.7	16.7	—	—
43	32.0	81.4	82.5	74.6	45.0	15.7	—	—
42	31.6	80.8	82.0	74.3	44.3	14.7	—	—
41	31.2	80.3	81.5	74.0	43.7	13.6	—	—
40	30.7	79.7	81.0	73.6	43.0	12.6	—	—
39	30.3	79.1	80.0	73.3	42.3	11.6	—	—
38	29.9	78.6	79.5	73.0	41.6	10.6	—	—
37	29.5	78.0	79.0	72.7	41.0	9.6	—	—
36	29.1	77.4	78.5	72.3	40.3	8.6	—	—
35	28.7	76.9	78.0	72.0	39.6	7.6	—	—
34	28.2	76.3	77.0	71.7	39.0	6.6	—	—
33	27.8	75.7	76.5	71.4	38.3	5.6	—	—
32	27.4	75.2	76.0	71.0	37.6	4.6	—	—
31	27.0	74.6	75.5	70.7	37.0	3.6	—	—
30	26.6	74.0	75.0	70.4	36.3	2.6	—	—

Uwaga:

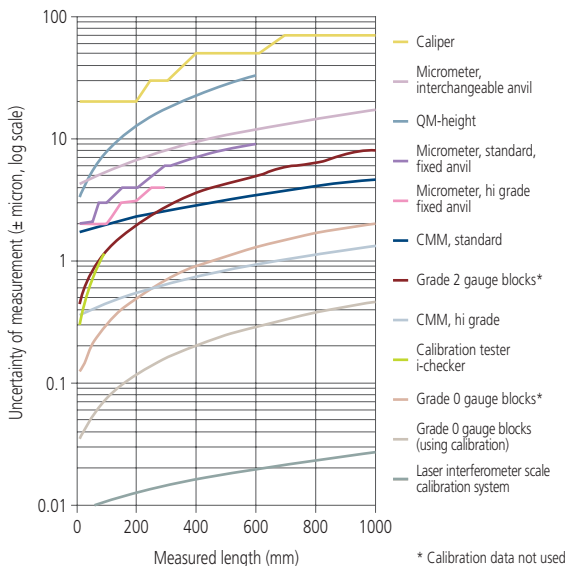
Porównując wskazania twardości należy pamiętać, że na wynik pomiaru może mieć wpływ kształt i typ przedmiotu mierzonego. Przykładowo, w przypadku przedmiotu ze stali nawęglanej znaczenie może mieć głębokość odcisku. Dlatego też bez uzgodnienia z projektantem wyrobu nie należy zmieniać metody pomiaru twardości podanej w dokumentacji wyrobu na inną.

Dokładność przyrządów pomiarowych

Str.
29

Poniższy wykres przedstawia podawaną niepewność pomiarową różnych przyrządów pomiarowych i kalibracyjnych oraz wzorców Mitutoyo.

> Porównanie niepewności pomiarowej przyrządów pomiarowych i wzorców



Uwaga:

Podana niepewność pomiarowa może być mniejsza, szczególnie dla wąskiego zakresu, poprzez kalibrację przyrządu z użyciem dokładnych wzorców długości, np. płytek wzorcowych.

Wprowadzenie do pomiarów struktury geometrycznej powierzchni

Str.
30

1. Rodzaje profili

Profil rzeczywisty

Profil otrzymany przez przecięcie powierzchni przedmiotu płaszczyzną do niej prostopadłą w kierunku, w którym wartość chropowatości jest największa (zwykle w kierunku prostopadłym do kierunkowości struktury powierzchni).

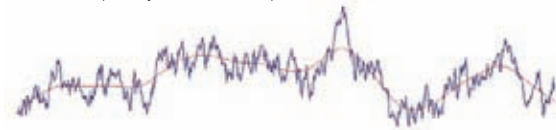
Profil zmierzony

Profil uzyskany przez odfiltrowanie składowych profilu rzeczywistego odwzorowanego za pomocą czujnika mechanicznego wyposażonego w końcówkę pomiarową o określonym promieniu i płoży. Rysy oraz wgłębienia są usuwane, ponieważ nie stanowią części profilu.

Profil pierwotny (profil P)

Profil powstały przez odfiltrowanie profilu mierzonego, celem usunięcia składowych o krótkiej długości fali, nieistotnych z punktu widzenia analizy struktury geometrycznej powierzchni. Parametry profilu są oznaczone odpowiednim przyrostkiem (Pa, Pc, Pt, Pz, itd).

> Linia średnia pokazuje falistość i kształt powierzchni.



Profil chropowatości (profil R)

Profil powierzchni otrzymany przez odfiltrowanie z profilu pierwotnego składowych falistości i kształtu. Parametry chropowatości są oznaczone odpowiednim przyrostkiem (Ra, Rc, Rt, Rz, itd).

> Profil chropowatości po odfiltrowaniu składowych falistości i kształtu.



Wprowadzenie do pomiarów struktury geometrycznej powierzchni (cd.)

Str.
31

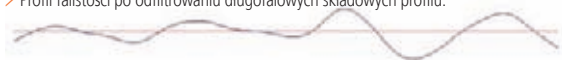
Profil falistości (profil W)

Profil powierzchni otrzymany przez odfiltrowanie składowych chropowatości i długofalowych składowych profilu z profilu pierwotnego. Parametry falistości są oznaczone odpowiednim przyrostkiem (W_a , W_c , W_t , W_z , itd).

> Filtr stopnia pierwszego usuwa składowe chropowatości i długofalowe składowe profilu.

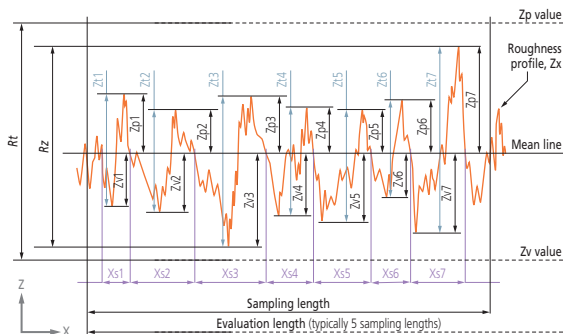


> Profil falistości po odfiltrowaniu długofalowych składowych profilu.



2. Niektóre najczęściej stosowane parametry

> Typowy profil (chropowatości).



Wprowadzenie do pomiarów struktury geometrycznej powierzchni (cd.)

Str.
32

Średnie arytmetyczna rzędnych profilu: Pa, Ra lub Wa

Średnia arytmetyczna bezwzględnych wartości rzędnych $Z(x)$ profilu wewnątrz odcinka elementarnego.

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

$l = l_p, l_r$ lub l_w odpowiednio dla profilu pierwotnego, profilu chropowatości lub profilu falistości

Średnia kwadratowa rzędnych profilu: Pq, Rq lub Wq

Średnia kwadratowa wartości rzędnych $Z(x)$ wewnątrz odcinka elementarnego.

$$P_q, R_q, W_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l |Z^2(x)| dx}$$

$l = l_p, l_r$ lub l_w odpowiednio dla profilu pierwotnego, profilu chropowatości lub profilu falistości

Całkowita wysokość profilu: Pt, Rt lub Wt

Suma wysokości najwyższego wzniesienia profilu Z_p i głębokości najgłębszego wgłębienia profilu Z_v wewnątrz odcinka pomiarowego.

Największa wysokość profilu: Pz, Rz lub Wz

Suma wysokości najwyższego wzniesienia profilu Z_p i głębokości najniższego wgłębienia profilu Z_v wewnątrz odcinka elementarnego.

Średnia szerokość elementów profilu. PSm, RSm lub WSm

Wartość średnia szerokości elementów profilu X_s wewnątrz odcinka elementarnego.

Jeśli nie określono inaczej, minimalna uwzględniana wysokość elementów wynosi

$$P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{S_i}$$

odpowiednio 10% P_z, R_z lub W_z , przy minimalnej odległości równej 1% długości odcinka elementarnego.

Wprowadzenie do pomiarów struktury geometrycznej powierzchni (cd.)

Str.
33

Średnia wysokość elementów profilu. P_c , R_c lub W_c

Średnia wartość wysokości elementów profilu Z_t wewnątrz odcinka elementarnego.

$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{t_i}$$

Jeśli nie określono inaczej, minimalna uwzględniana wysokość elementów wynosi odpowiednio 10% P_z , R_z lub W_z , przy minimalnej odległości równej 1% długości odcinka elementarnego.

3. Wartość chropowatości / Stopień chropowatości

Zgodnie z normą ISO 1302:1992, zależność pomiędzy wartościami chropowatości powierzchni a stopniami chropowatości pokazano w poniższej tabeli.

Wartość chropowatości		Stopień chropowatości
Mikrometry (μm)	Mikrocale (μinch)	
50	2000	N12
25	1000	N11
12,5	500	N10
6,3	250	N9
3,2	125	N8
1,6	63	N7
0,8	32	N6
0,4	16	N5
0,2	8	N4
0,1	4	N3
0,05	2	N2
0,025	1	N1

Wprowadzenie do pomiarów struktury geometrycznej powierzchni (cd.)

Zalecenia dla pomiaru chropowatości (PN-ISO 4288:1998)

Str.
34

Profile nieokresowe		Profile okresowe	Zalecenia według PN-ISO 4288:1998 i PN-ISO 3274							
Szlifowanie, honowanie, polerowanie, obróbka erozyjna		Toczenie, frezowanie, struganie	r_{tip}	Maks. promień wierzchołka	l_r	Odcinek elementarny	l_n	Odcinek pomiarowy	l_t	odcinek przejazdu ostrza obejmuje odcinek na rozpęd i odcinek na hamowanie.
Rt, Rz μm	Ra μm	RSm mm	r_{tip} μm	$\lambda_c = l_r$ mm	l_n mm	l_t mm				
> 0.025...0.1	> 0.006...0.02	> 0.013...0.04	2	0.08	0.4	0.48				
> 0.1...0.5	> 0.02...0.1	> 0.04...0.13	2	0.25	1.25	1.5				
> 0.5...10	> 0.1...2	> 0.13...0.4	2*	0.8	4	4.8				
> 10...50	> 2...10	> .04...1.3	5	2.5	12.5	15				
> 50...200	> 10...80	> 1.3...4	10	8	40	48				

* Dla $Rz > 3 \mu\text{m}$ lub $Ra > 0,5 \mu\text{m}$ można używać ostrza o promieniu $r_{tip} = 5 \mu\text{m}$

Uwaga:

Niniejszy opis opiera się na normie PN-ISO 4288:1998, która zawiera szczegółowe informacje

Współczynniki rozszerzalności cieplnej

Str.
35

W poniższej tabeli podano współczynniki rozszerzalności cieplnej (CTE) w umiarkowanych temperaturach dla wybranych 50 materiałów konstrukcyjnych.

Material	CTE (ppm/K)	Material	WRC (ppm/K)
Ceramika korundowa	6 – 7	Nikiel i jego stopy	12 – 17
Aluminium i jego stopy	21 – 25	Stopy niklu o niskim WRC	10
Beryl	11	Stal do azotowania	12
Brąz berylowy	17	Platyna	9
Mosiądz	18 – 21	Stal nierdzewna utwardzana wydzieleniowo	10 – 15
Brąz, aluminiowy (odlewniczy)	16 – 17	Stal nierdzewna austenityczna	14 – 18
Fosfobraz, brąz silikonowy	17 – 18	Staliwo nierdzewne	11 – 19
Brąz, cynowy (odlewniczy)	18	Stal nierdzewna ferrytyczna	10 – 11
Żeliwo sferoidalne	10 – 19	Stal nierdz. martenzytyczna	10 – 12
Cermet na bazie korundu	8 – 9	Stal stopowa	11 – 15
Cermet. na bazie węgl. chromu	10 – 11	Stal stopowa łana	14 – 15
Cermet. na bazie węgl. tytanu	8 – 13	Stal węglowa automatowa	15
Cermet. na bazie węgl. wolframu	4 – 7	Stal żaroodporna	11 – 14
Miedź	17	Stal nadwytrzymała	10 – 14
Miedzionikiel i srebro niklowe	16 – 17	Nadstopy na bazie kobaltu	12 – 17
Diament	1	Nadst. na bazie chromu, niklu, kobaltu, żelaza	17 – 19
Płytką wzorcowa, CERA block*	9.3 ± 1	Nadst. na bazie chromu, niklu, żelaza	14 – 16
Płytką wzorcowa, stal	10.9 ± 1	Nadstopy na bazie niklu	14 – 18
Płytką wzorcowa, węgiel wolframu	4.2 – 4.3	Węgiel tantalowy	8
Szkoło kwarcowe	0.55 – 0.59	Cyna i jej stopy	23
Szkoło pyreksowe	3.3	Tytan i jego stopy	9 – 13
Żeliwo szare	11	Węgiel tytanowy	7
Stopy magnezu	25 – 28	Wolfram	4
Molibden i jego stopy	5 – 6	Zerodur®, ceramika szklana**	0.05 ± 0.10
		Cynk i jego stopy	19 – 35
		Cyrkon i jego stopy	5.5 – 6

* Ceramika cyrkonowa.

** Używany na linały osi XYZ do współrzędnościowych maszyn pomiarowych o najwyższej dokładności, np. serii Mitutoyo LEGEX.

Różnica rozszerzalności cieplnej

Str.
36

Poniższe przybliżone wzory obowiązują w przypadku niewielkich zmian temperatury oraz bardzo małych wartości WRC, występujących typowo w precyzyjnej metrologii mechanicznej.

$$\Delta L_A - \Delta L_B = (L_A \text{ CTE}_A - L_B \text{ CTE}_B) (T_2 - T_1)$$

Przyrostki A i B odnoszą się do dwóch materiałów o różnych współczynnikach rozszerzalności cieplnej

W typowym przypadku, gdy $L_A = L_B = L$

$$\Delta L_A - \Delta L_B = L (\text{CTE}_A - \text{CTE}_B) (T_2 - T_1)$$

ΔL to zmiana długości początkowej; CTE to współczynnik rozszerzalności cieplnej danego materiału (zmierzony lub odczytany z tabeli, np. ze str. 35); L to długość w temperaturze T_1 ; T_1 a T_2 to odpowiednio temperatura początkowa i końcowa materiałów.

> Przykład 1

Długość detalu wykonanego z nadstopu na bazie niklu zmierzona na współrzędnościowej maszynie pomiarowej wyposażonej w liniał wykonany z Zeroduru w temperaturze 20 °C wynosi 279.400 mm. Nieco później detal ten zmierzono ponownie na tej samej maszynie przy temperaturze otoczenia wynoszącej 22 °C. Jaka jest różnica długości wskazywana przez maszynę w wyższej temperaturze?

Oznaczając detal mierzony jako A a liniał maszyny pomiarowej jako B, z tabeli na str. 35 odczytujemy, $\text{CTE}_A = 16/10^6$ a $\text{CTE}_B = 0.05/10^6$.

Długość początkowa $L_A = L_B = 279.4$ mm

Stąd:

$$\Delta L_A - \Delta L_B = 279.4 (16/10^6 - 0.05/10^6) (22 - 20) = 0.0089 \text{ mm}$$

Różnica rozszerzalności cieplnej (cd.)

Str.
37

Wynika z tego, że długość detalu wzrośnie o 0.0089 mm więcej, niż długość liniału maszyny pomiarowej a w związku z tym odczyt maszyny będzie większy o tę wartość od odczytu w temperaturze 20 °C i jeśli nie zostanie skorygowany, stanowi błąd pomiarowy. W praktyce system kompensacji wpływu temperatury w maszynie pomiarowej automatycznie odejmie tę wartość od wskazania, dając odczyt wynoszący 279.400 mm.

> Przykład 2

Wymiar detalu wykonanego ze stopu aluminium, który na rysunku wynosi 159.82 mm ma być zmierzony za pomocą stalowych płytek wzorcowych. Jaki powinna być wysokość stosu płytek wzorcowych, jeśli temperatura otoczenia w chwili pomiaru wynosi 17 °C?

Oznaczając detal mierzony jako A a stos płytek wzorcowych jako B, z tabeli na str. 35 odczytujemy $CTE_A = 23/10^6$ a $CTE_B = 10.9/10^6$.

Długości początkowe $L_A = L_B = 159.82$ mm (w temperaturze standardowej 20 °C)

Stąd:

$$\Delta L_A - \Delta L_B = 159.82 (23/10^6 - 10.9/10^6) (17 - 20) = -0.0058 \text{ mm}$$

Wynika z tego, że w temperaturze 17 °C wymiar detalu zmniejszy się więcej o 0.0058 mm w porównaniu z wysokością stosu płytek wzorcowych w temperaturze 20 °C a więc należy przygotować stos o wysokości mniejszej o 5.8 μm (w rzeczywistości o 6 μm ze względu na stopniowanie wysokości płytek), aby wysokość stosu idealnie odpowiadała wymiarowi detalu w temperaturze 17 °C.

Dlatego dla temperatury 17 °C należy złożyć stos płytek o wysokości $159.820 - 0.006 = 159.814$ mm, co odpowiada wymiarowi 159.82 mm w temperaturze 20 °C.

Klasy płytek wzorcowych

Diagram na następnej stronie pokazuje graniczne wartości odchyłek dwóch różnych parametrów płytek wzorcowych klasy K, 0, 1 i 2 o wysokości do 150 mm. Typowe zastosowania płytek wzorcowych poszczególnych klas są następujące:

> **Klasa 2:** płytki ogólnego stosowania na warsztacie lub w narzędziowni do pomiarów kontrolnych wartości granicznych, pomiarów porównawczych pojedynczych komponentów po obróbce oraz sprawdzania czujników zegarowych i dźwigniowych, gdy wymagany poziom dokładności jest zapewniony przez użycie wymiarów nominalnych podanych na płytkach jako wymiarów roboczych.

> **Klasa 1:** do nastawiania wzorców kontrolnych oraz wzorcowania sprawdzianów szczękowych i mikrometrów. (Dostępne są komplety płytek o specjalnym przeznaczeniu: do sprawdzania sprawdzianów szczękowych i mikrometrów dla odpowiednio wybranych wymiarów ich zakresu pomiarowego). W zależności od aplikacji mogą być stosowane łącznie ze świadectwem wzorcowania.

> **Klasa 0:** do nastawiania lub wzorcowania przyrządów do pomiaru długości o najwyższej dokładności oraz okresowego wzorcowania płytek klasy 1 (oraz legalizacji płytek klasy 2); stosowane są łącznie ze świadectwem wzorcowania (najlepiej w środowisku o kontrolowanej temperaturze).

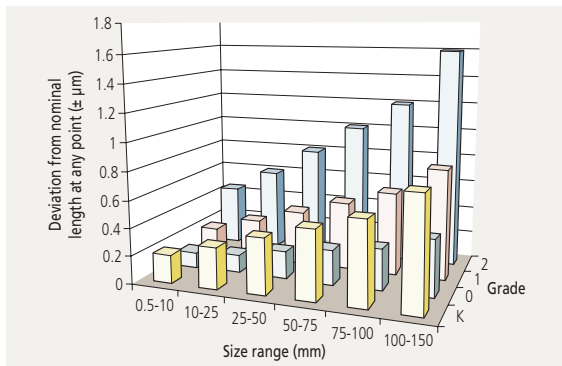
> **Klasa K:** przeznaczone specjalnie do wzorcowania płytek roboczych najwyższej klasy dokładności (klasy 0), w ramach zakładowego planu wzorcowania. W tym przypadku zaletą jest to, że do okresowego wzorcowania wystarczy oddać tylko jeden komplet płytek wzorcowych (klasy K), zamiast wszystkich posiadanych kompletów płytek klasy 0. Jest to ekonomicznie uzasadnione tylko wtedy, gdy w grę wchodzi duża liczba kompletów płytek klasy 0, niezbędne jest zapewnienie środowiska o kontrolowanej temperaturze oraz specjalnie przeszkolonego personelu.

Z pierwszego diagramu widać, że dla płytek klasy K tolerancja odchyłek wymiarów jest większa, niż dla płytek klasy 0 a praktycznie taka sama, jak dla płytek klasy 1. Jednak płytki wzorcowe klasy K są wzorcowane metodą interferometrii laserowej, która jest dokładniejsza od metody polegającej na porównaniu z płytkami odniesienia o tej samej długości, stosowanej w przypadku płytek niższych klas i zawsze są zawsze stosowane łącznie ze świadectwem wzorcowania, więc fakt ten nie ma znaczenia dla możliwości ich stosowania. Płytki klasy K charakteryzują się najwyższą płaskością i równoległością (mniejszą różnicą długości). Pełne dane techniczne płytek wzorcowych o długości do 1000 mm podano w normie PN-EN ISO 3650:1999.

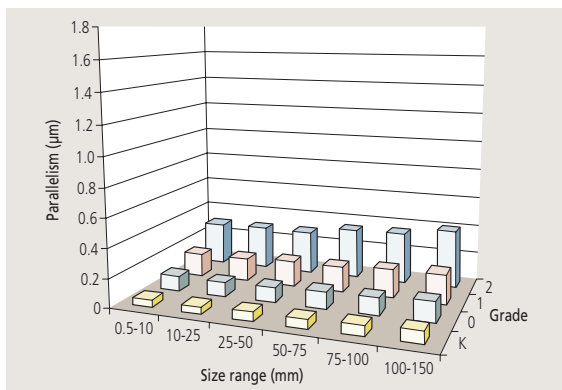
Klasy płytek wzorcowych (cd.)

Str.
39

> Odchyłki graniczne płytek wzorcowych wg normy PN-EN ISO 3650:1999



> Tolerancje równoległości płytek wzorcowych wg normy PN-EN ISO 3650:1999



Temperatury topnienia pierwiastków i stopów

Str.
40

Nazwa pierwiastka lub stopu	Symbol	Temp. topnienia (°C)
Węgiel	C	3600
Wolfram	W	3000
Tytan	Ti	1795
Platyna	Pt	1772
Chrom	Cr	1615
Żelazo	Fe	1530
Kobalt	Co	1495
Stal niskowęglowa	Cr + Ni + Mn + C	1464
Nikiel	Ni	1452
Stal średniowęglowa	Cr + Ni + Mn + C	1427
Krzem	Si	1420
Inconel	Ni + Cr + Fe	1393
Stal nierdzewna	Cr + Ni + Mn + C	1363
Stal wysokowęglowa	Cr + Ni + Mn + C	1353
Monel	Ni + Cu + Si	1301
Mangan	Mn	1260
Żeliwo	C + Si + Mn + Fe	1260
Miedź	Cu	1083
Złoto	Au	1063
Brąz (90% Cu, 10% Sn)	Cu + Sn	850-1000
Srebro	Ag	961
Mosiądz (85% Cu, 15% Zn)	Cu + Zn	900-940
Magnez	Mg	670
Aluminium	Al	659
Cynk	Zn	419
Ołów	Pb	327
Cyna	Sn	232

Str.
41

Mitutoyo Polska Sp. z o.o.

ul. Mińska 54-56
54-610 Wrocław

Tel.: +4871 354-83-50 +
Faks: +4871 354-83-55

mitutoyo@mitutoyo.pl
www.mitutoyo.pl

Współrzędnościowe maszyny
pomiarowe

Systemy obróbki obrazu

Pomiary parametrów kształtu

Optyczne przyrządy pomiarowe

Mikrometry Laser Scan

Przyrządy do badań
twardości i drgań

Linear Scale

Ręczne przyrządy pomiarowe

