

Władysław Jakubiec | Jan Malinowski

# **METROLOGIA** wielkości geometrycznych

Wydawnictwo WNT



**METROLOGIA**  
wielkości  
geometrycznych



Władysław Jakubiec | Jan Malinowski

# METROLOGIA wielkości geometrycznych

Wydanie piąte

Wydawnictwo WNT 

Opiniodawca: *prof. dr inż. Eugeniusz Ratajczyk*

Redaktorzy wyd. I-III: *Ewa Kiliś, Halina Wierzbicka*

Redaktor wyd. IV i V: *Marcin Starczak*

Projekt okładki i stron tytułowych: *Anna Gogolewska*

Korekta: *Zespół*

Skład i łamanie: *Marcin Starczak, Wojciech Płowucha*

Wydawca: *Adam Filutowski*

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

Szanujmy cudzą własność i prawo  
Więcej na [www.legalnakultura.pl](http://www.legalnakultura.pl)  
*Polska Izba Książki*

Copyright © by Wydawnictwo WNT

Warszawa 1993, 1996, 1999, 2004, 2007

Copyright © by Wydawnictwo Naukowe PWN SA

Warszawa 2018

ISBN 978-83-01-19815-2

Wydanie V – 1 dodruk (PWN)

Warszawa 2018

Wydawnictwo Naukowe PWN SA

02-460 Warszawa, ul. Gottlieba Daimlera 2

tel. 22 69 54 321, faks 22 69 54 288

infolinia 801 33 33 88

e-mail: [pwn@pwn.com.pl](mailto:pwn@pwn.com.pl); [reklama@pwn.pl](mailto:reklama@pwn.pl)

[www.pwn.pl](http://www.pwn.pl)

Druk i oprawa: OSDW Azymut Sp. z o.o.

---

Przedmowa.....	13
----------------	----

---

1. Wiadomości ogólne.....	17
---------------------------	----

---

1.1. Metrologia i jej podział .....	17
1.2. Metrologia wielkości geometrycznych, jej przedmiot i zadania.....	20
1.3. Jednostka miary długości.....	21
1.4. Jednostka miary kąta płaskiego .....	27
1.5. Matematyka w metrologii wielkości geometrycznych .....	28
1.5.1. Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej.....	28
1.5.2. Elementy analizy regresji i teorii aproksymacji .....	41
1.5.3. Elementy geometrii analitycznej .....	47
1.6. Podstawy cyfrowej techniki pomiarowej.....	50
Literatura.....	50

---

2. Błędy pomiarów .....	52
-------------------------	----

---

2.1. Jakościowa i ilościowa definicja błędu pomiaru .....	52
2.2. Błędy systematyczne .....	54
2.2.1. Likwidacja źródła błędu systematycznego .....	55
2.2.2. Kompensacja błędów systematycznych .....	66
2.2.3. Korekcja błędu systematycznego polegająca na doświadczalnym wyznaczeniu poprawki przez zmianę przyczyny błędu .....	66
2.2.4. Korekcja błędu systematycznego polegająca na obliczeniu poprawki na podstawie wartości wielkości wpływających .....	66
2.2.5. Błędy systematyczne w pomiarach metodą pośrednią.....	67
2.2.6. Błędy obserwacji .....	67
2.3. Błędy przypadkowe .....	72
2.3.1. Błędy przypadkowe w pomiarach pośrednich równej dokładności.....	73
2.4. Wyznaczanie niepewności pomiaru .....	74
2.4.1. Wyznaczanie niepewności pomiaru wg zaleceń ISO .....	78
2.4.2. Złożona niepewność standardowa .....	81
2.4.3. Niepewność rozszerzona .....	81
2.5. Błędy nadmierne.....	93
2.6. Opracowanie wyniku pomiaru.....	93
Literatura.....	93

---

3.	Klasyfikacja i właściwości metrologiczne przyrządów pomiarowych i wzorców miar.....	95
3.1.	Klasyfikacja przyrządów pomiarowych i wzorców miar .....	95
3.2.	Najważniejsze właściwości i charakterystyki przyrządów pomiarowych .....	97
	Literatura.....	101
4.	Wzorce długości i kąta.....	102
4.1.	Klasyfikacja wzorców miar długości.....	102
4.2.	Wzorce kreskowe i końcowo-kreskowe .....	103
4.2.1.	Noniusz.....	103
4.2.2.	Mikroskop odczytowy ze spiralą Archimedesa .....	105
4.2.3.	Układ odczytowy z urządzeniem projekcyjnym i czujnikiem fotooptycznym .....	106
4.2.4.	Mikroskop odczytowy przyzmatyczny .....	107
4.3.	Inkrementalne układy pomiarowe długości .....	108
4.3.1.	Układy pomiarowe optoelektroniczne .....	109
4.3.2.	Układy pomiarowe magnetyczne, indukcyjne i pojemnościowe .....	118
4.3.3.	Interpolatory .....	119
4.4.	Układy bezwzględne .....	122
4.4.1.	Kodowe układy pomiarowe.....	122
4.4.2.	Układy bezwzględne z siatkami inkrementalnymi .....	123
4.4.3.	Układy bezwzględne ze ścieżką z siatką inkrementalną i ścieżką z kodem losowym (random code) firmy Heidenhain.....	124
4.5.	Wzorce końcowe .....	124
4.5.1.	Płytki wzorcowe .....	124
4.5.2.	Wałeczki pomiarowe .....	128
4.5.3.	Kulki pomiarowe.....	129
4.5.4.	Szczelinomierze .....	129
4.5.5.	Wzorce nastawcze .....	130
4.6.	Wzorce falowe.....	130
4.7.	Wzorce kreskowe kąta.....	131
4.8.	Inkrementalne układy pomiarowe kąta .....	132
4.9.	Kodowe układy pomiarowe kąta .....	134
4.10.	Wzorce końcowe kąta.....	134
4.10.1.	Pryzma wielościenna.....	134
4.10.2.	Płytki kątowe.....	134
4.10.3.	Kątowniki .....	136
	Literatura.....	136
5.	Przyrządy suwmiarkowe, mikrometryczne i czujniki .....	138
5.1.	Przyrządy suwmiarkowe .....	138
5.2.	Przyrządy mikrometryczne.....	140
5.3.	Czujniki .....	144
5.3.1.	Czujniki mechaniczne .....	145
5.3.2.	Czujniki optyczno-mechaniczne.....	151
5.3.3.	Czujniki elektryczne.....	152
5.3.4.	Czujniki pneumatyczne .....	155
5.3.5.	Czujniki inkrementalne .....	158
5.4.	Mechanizacja i automatyzacja pomiarów.....	159
	Literatura.....	160

6.	Maszyny pomiarowe .....	161
6.1.	Wiadomości wstępne .....	161
6.2.	Długościomierze i wysokościomierze .....	161
6.2.1.	Długościomierze pionowe Abbego (Zeiss) .....	161
6.2.2.	Długościomierze poziome uniwersalne .....	163
6.2.3.	Wysokościomierze .....	164
6.3.	Optoelektroniczne przyrządy pomiarowe .....	167
6.4.	Mikroskopy pomiarowe i projektory .....	171
6.4.1.	Mikroskopy warsztatowe małe .....	175
6.4.2.	Mikroskopy warsztatowe duże .....	176
6.4.3.	Mikroskopy uniwersalne .....	177
6.4.4.	Projektory .....	180
	Literatura .....	182
7.	Interferometry .....	183
7.1.	Wiadomości wstępne .....	183
7.2.	Interferometry laserowe .....	183
7.2.1.	Interferometr laserowy HP 5528A (Hewlett-Packard) .....	186
7.2.2.	Modułowy układ pomiarowy HP 5527A (Hewlett-Packard) .....	190
7.2.3.	Interferometr laserowy HP 5529A do kalibracji dynamicznej .....	191
7.2.4.	Interferometr laserowy ZLM 500 (Zeiss) .....	192
7.2.5.	Interferometr laserowy ILM 1131 (Heidenhain) .....	193
	Literatura .....	194
8.	Nadzorowanie przyrządów pomiarowych i obrabiarek .....	196
8.1.	Wiadomości wstępne .....	196
8.2.	Sprawdzanie prostych przyrządów pomiarowych .....	197
8.2.1.	Sprawdzanie przyrządów suwmiarkowych .....	198
8.2.2.	Sprawdzanie przyrządów mikrometrycznych .....	198
8.2.3.	Sprawdzanie czujników .....	199
8.2.4.	Sprawdzanie płytek wzorcowych .....	200
8.3.	Sprawdzanie współrzędnościowych maszyn pomiarowych .....	201
8.3.1.	Sprawdzanie innych przyrządów pomiarowych według EN ISO 10360-2 .....	202
8.3.2.	Sprawdzanie maszyn pomiarowych ze stołem obrotowym według PN-EN ISO 10360-3 .....	207
8.3.3.	Sprawdzanie maszyn pomiarowych według PN-EN ISO 10360-4 .....	207
8.3.4.	Sprawdzanie maszyn pomiarowych według PN-EN ISO 10360-5 .....	209
8.3.5.	Sprawdzanie maszyn pomiarowych przy użyciu wzorca płytowego z kulami lub otworami .....	211
8.4.	Sprawdzanie innych przyrządów pomiarowych .....	212
8.5.	Oprogramowanie wspomagające nadzorowanie przyrządów pomiarowych .....	213
8.6.	Nadzorowanie obrabiarek .....	213
	Literatura .....	214
9.	Dobór przyrządów pomiarowych i reguły orzekania zgodności i niezgodności z tolerancją (ze specyfikacją) .....	218
9.1.	Postępowanie pomiarowe .....	218
9.2.	Metody pomiarowe .....	218



9.3.	Zasada pomiaru .....	220
9.4.	Dobór przyrządów pomiarowych .....	220
9.5.	Niepewność pomiaru a tolerancja wymiaru.....	221
9.5.1.	Kontrola wyrobów za pomocą pomiarów.....	222
	Literatura.....	224

---

## 10. Pomiary wałków, otworów, wymiarów mieszanych i pośrednich..... 226

---

10.1.	Wiadomości wstępne.....	226
10.2.	Modele opisu postaci geometrycznej wyrobu .....	226
10.3.	Układ tolerancji wałków i otworów .....	227
10.4.	Zasady tolerowania.....	232
10.5.	Wymiarowanie i tolerowanie wektorowe .....	234
10.6.	Pomiary przyrządami suwmiarkowymi.....	235
10.7.	Pomiary przyrządami mikrometrycznymi .....	235
10.8.	Pomiary czujnikami.....	236
10.9.	Pomiary długościomierzami uniwersalnymi i pionowymi .....	240
10.10.	Pomiary mikroskopami pomiarowymi .....	241
10.11.	Sprawdziany .....	245
	Literatura.....	246

---

## 11. Pomiary kątów i stożków .....

---

11.1.	Układ tolerancji kątów .....	248
11.2.	Układ tolerancji i pasowań stożków .....	249
11.2.1.	Wymiarowanie i tolerowanie stożków .....	249
11.2.2.	Tolerancje i pasowania stożków.....	251
11.3.	Pomiary kątów.....	255
11.3.1.	Pomiary kątomierzami.....	255
11.3.2.	Głowice i stoły podziałowe .....	256
11.3.3.	Liniały sinusowe.....	256
11.3.4.	Pomiary mikroskopami.....	258
11.3.5.	Luneta autokolimacyjna .....	259
11.3.6.	Goniometr.....	259
11.3.7.	Poziomnice .....	260
11.4.	Pomiary stożków .....	262
11.4.1.	Pomiary stożka zewnętrznego mikroskopem pomiarowym .....	262
11.4.2.	Pomiary stożka zewnętrznego przy użyciu wałeczków pomiarowych .....	262
11.4.3.	Pomiary stożka wewnętrznego przy użyciu kul pomiarowych.....	264
11.4.4.	Przyrządy do pomiaru stożków .....	267
11.4.5.	Sprawdziany do stożków .....	268
	Literatura.....	269

---

## 12. Współrzędnościowe maszyny pomiarowe .....

---

12.1.	Wiadomości wstępne.....	270
12.2.	Współrzędnościowa technika pomiarowa.....	271
12.2.1.	Istota współrzędnościowej techniki pomiarowej .....	271
12.2.2.	Parametryzacja elementów geometrycznych.....	272
12.2.3.	Algorytmy wyznaczania elementów skojarzonych .....	275
12.2.4.	Elementy teoretyczne i relacje między elementami geometrycznymi .....	278
12.3.	Budowa współrzędnościowych maszyn pomiarowych.....	281
12.3.1.	Układy pomiarowe .....	281

12.3.2.	Układy sterowania .....	281
12.4.	Struktura mechaniczna .....	282
12.4.1.	Klasyfikacja .....	282
12.4.2.	Elementy i zespoły .....	284
12.5.	Zespół głowicy pomiarowej .....	285
12.5.1.	Głowice pomiarowe .....	285
12.5.2.	Układy trzpieni pomiarowych .....	288
12.6.	Wyposażenie maszyn pomiarowych .....	289
12.7.	Komputer i oprogramowanie pomiarowe .....	291
12.7.1.	Kwalifikacja układów trzpieni pomiarowych .....	292
12.7.2.	Układ współrzędnych przedmiotu .....	292
12.7.3.	Analiza wyników pomiaru .....	293
12.7.4.	Programowanie przebiegu pomiarowego CNC .....	293
12.8.	Strategia pomiaru .....	296
12.9.	Dokładność maszyn pomiarowych .....	299
12.9.1.	Źródła błędów .....	299
12.9.2.	Model dokładności geometrycznej .....	301
12.9.3.	Wpływ temperatury i gradientów temperatur .....	301
12.9.4.	Matematyczna korekcja dokładności (CAA) — model statyczny .....	301
12.9.5.	Matematyczna korekcja dokładności — model dynamiczny .....	304
12.9.6.	Błędy wynikające z oprogramowania .....	305
12.9.7.	Wyznaczanie niepewności pomiaru — metoda porównawcza .....	307
12.9.8.	Wyznaczanie niepewności pomiaru — model wirtualny .....	307
12.10.	Przykłady maszyn pomiarowych .....	309
Literatura .....		316

---

## 13. Pomiary odchyłek geometrycznych .....

321

13.1.	Tolerancje geometryczne .....	321
13.1.1.	Klasyfikacja i pojęcia podstawowe .....	321
13.1.2.	Tolerancje kształtu .....	324
13.1.3.	Bazy .....	326
13.1.4.	Tolerancje kierunku .....	326
13.1.5.	Tolerancje położenia .....	328
13.1.6.	Tolerancje bicia .....	331
13.1.7.	Tolerancje zależne. Zasada maksimum materiału .....	333
13.1.8.	Tolerancje geometryczne ogólne .....	333
13.2.	Ogólne zasady pomiarów odchyłek geometrycznych .....	335
13.3.	Pomiary odchyłki prostoliniowości .....	338
13.3.1.	Wzorce prostoliniowości .....	338
13.3.2.	Klasyfikacja sposobów pomiarów odchyłki prostoliniowości .....	339
13.3.3.	Pomiary odchyłki prostoliniowości w płaszczyźnie z wykorzystaniem wzorca w postaci wiązki światła .....	339
13.3.4.	Wyznaczanie odchyłki prostoliniowości na podstawie wyników pomiarów nachylenia zarysu .....	340
13.3.5.	Pomiary odchyłki prostoliniowości osi w przestrzeni .....	340
13.3.6.	Pomiary odchyłki prostoliniowości oraz odchyłek kształtu wyznaczonego zarysu i kształtu wyznaczonej powierzchni .....	341
13.4.	Pomiary odchyłki płaskości .....	341
13.5.	Pomiary odchyłki kształtu kuli .....	343
13.6.	Pomiary odchyłki okrągłości .....	344
13.6.1.	Metody bezodniesieniowe .....	345
13.6.2.	Metody odniesieniowe .....	348
13.7.	Pomiary odchyłki walcowości .....	351

13.8.	Pomiary odchyłek geometrycznych współrzędnościowymi maszynami pomiarowymi.....	352
13.9.	Sprawdziany kierunku, położenia i prostoliniowości osi.....	356
	Literatura.....	357

---

## 14. Pomiary chropowatości i falistości powierzchni..... 360

---

14.1.	Wiadomości wstępne .....	360
14.2.	Pojęcia podstawowe.....	361
14.3.	Parametry profilu, chropowatości i falistości powierzchni.....	362
14.3.1.	Parametry pionowe .....	363
14.3.2.	Parametry poziome .....	365
14.3.3.	Parametry mieszane .....	365
14.3.4.	Charakterystyczne krzywe i związane z nimi parametry.....	365
14.3.5.	Znormalizowane warunki pomiarów profilu.....	366
14.3.6.	Parametry metody motywów.....	367
14.3.7.	Parametry powierzchni o warstwowych właściwościach funkcjonalnych .....	370
14.3.8.	Parametry nie zdefiniowane w normach PN, EN i ISO .....	373
14.4.	Oznaczanie chropowatości i falistości powierzchni na rysunkach .....	374
14.5.	Klasyfikacja pomiarów chropowatości i falistości powierzchni.....	376
14.6.	Pomiary stykowe przy użyciu profilometrów .....	377
14.6.1.	Zasada pomiaru.....	377
14.6.2.	Główce pomiarowe.....	379
14.6.3.	Filtry i zespoły opracowujące informację pomiarową.....	383
14.6.4.	Rejestratory .....	384
14.6.5.	Klasyfikacja profilometrów .....	384
14.6.6.	Przegląd profilometrów .....	385
14.6.7.	Źródła błędów w pomiarach stykowych.....	385
14.6.8.	Wzorcowanie profilometrów .....	387
14.6.9.	Zasady oceny chropowatości powierzchni mierzonej metodą stykową .....	390
14.6.10.	Pomiary profilometryczne wiązką zogniskowaną.....	392
14.7.	Pomiary profilometryczne wiązką zogniskowaną.....	393
14.8.	Pomiary optyczne metodą przekroju świetlnego.....	395
14.9.	Pomiary interferencyjne.....	396
14.10.	Pomiary przez porównanie z wzorcami chropowatości powierzchni obrabianych.....	397
14.11.	Inne metody pomiaru chropowatości powierzchni .....	398
	Literatura .....	399

---

## 15. Pomiary gwintów .....

---

15.1.	Układ tolerancji i pasowań gwintów metrycznych walcowych.....	403
15.1.1.	Wiadomości wstępne .....	403
15.1.2.	Opis i parametry postaci geometrycznej gwintu metrycznego walcowego.....	403
15.1.3.	Układ tolerancji i pasowań gwintów metrycznych walcowych ogólnego przeznaczenia z pasowaniem luźnym.....	405
15.2.	Pomiary gwintów walcowych zewnętrznych o zarysie symetrycznym .....	406
15.2.1.	Pomiar średnicy zewnętrznej.....	406
15.2.2.	Pomiar średnicy wewnętrznej.....	406
15.2.3.	Pomiar podziałki .....	407
15.2.4.	Pomiary kąta gwintu i kątów boków .....	409
15.2.5.	Pomiar średnicy podziałkowej za pomocą mikroskopu pomiarowego.....	412
15.2.6.	Pomiar średnicy podziałkowej sposobem trójwałeczkowym .....	415
15.3.	Pomiary gwintów walcowych wewnętrznych.....	422

15.3.1.	Pomiar średnicy podziałowej gwintu wewnętrznego za pomocą wkładek z rowkami pryzmatycznymi i długościomierza uniwersalnego firmy Zeiss.....	422
15.3.2.	Pomiar średnicy podziałowej przy użyciu sztywnego trzpienia z końcówkami pomiarowymi firmy Mahr lub Zeiss.....	427
15.4.	Pomiary gwintów walcowych symetrycznych ogólnego przeznaczenia.....	429
15.4.1.	Pomiary gwintów zewnętrznych i wewnętrznych.....	429
15.4.2.	Interpretacja tolerancji średnicy podziałowej gwintów ogólnego przeznaczenia.....	429
15.5.	Pomiary gwintów stożkowych o zarysie symetrycznym względem prostopadłej do osi gwintu.....	430
15.5.1.	Konstrukcja zarysu ostrego gwintu stożkowego o dwusiecznych kątów gwintu prostopadłych do osi gwintu.....	430
15.5.2.	Średnica podziałowa.....	431
15.5.3.	Pomiar kąta gwintu.....	432
15.5.4.	Pomiar podziałki.....	432
15.5.5.	Pomiar średnicy podziałowej mikroskopem pomiarowym.....	433
15.5.6.	Pomiar kąta stożka.....	434
15.6.	Pomiary gwintów stożkowych o zarysie symetrycznym względem prostopadłej do tworzącej stożka.....	434
15.6.1.	Konstrukcja zarysu ostrego gwintu stożkowego o dwusiecznych kątów gwintu prostopadłych do tworzących stożka.....	434
15.6.2.	Średnica podziałowa.....	435
15.6.3.	Pomiar kąta gwintu.....	435
15.6.4.	Pomiar podziałki.....	435
15.6.5.	Pomiar średnicy podziałowej sposobem trójwałeczkowym.....	436
15.7.	Pomiary gwintów współrzędnościowymi maszynami pomiarowymi.....	437
15.7.1.	Pomiary metodą stykową.....	437
15.7.2.	Pomiary metodą optyczną.....	440
	Literatura.....	442
<hr/>		
16.	Pomiary kół zębatach.....	445
<hr/>		
6.1.	Parametry opisujące postać konstrukcyjną koła zębatego.....	445
16.2.	Definicje i pomiary wybranych odchyłek kół zębatach.....	447
16.2.1.	Odchyłki kinematyczne.....	447
16.2.2.	Pomiary odchyłek podziałki.....	449
16.2.3.	Odchyłka bicia promieniowego uzębienia.....	451
16.2.4.	Pomiar odchyłek promieniowych złożonych.....	453
16.2.5.	Odchyłka podziałki przyporu.....	454
16.2.6.	Odchyłki zarysu.....	455
16.2.7.	Odchyłki linii zęba.....	457
16.2.8.	Pomiar grubości zęba — pomiar po łuku.....	458
16.2.9.	Pomiar grubości zęba — pomiar cięciwy.....	458
16.2.10.	Pomiar grubości zęba — pomiar długości pomiarowej.....	458
16.2.11.	Pomiar grubości zęba — pomiar przez wałeczki lub kulki.....	459
16.3.	Układ tolerancji przekładni i kół zębatach.....	460
	Literatura.....	462
<hr/>		
17.	Metody statystyczne w zapewnieniu jakości.....	465
<hr/>		
17.1.	Wiadomości wstępne.....	465
17.2.	Karty kontrolne.....	468
17.3.	Karty kontrolne Shewarta.....	473
17.3.1.	Karty kontrolne przy liczbowej ocenie właściwości.....	474

17.3.2.	Karty wartości średniej $\bar{X}$ i rozstępu- <i>R</i> lub odchylenia standardowego.....	475
17.3.3.	Karty kontrolne pojedynczych obserwacji.....	475
17.3.4.	Karty kontrolne mediany <i>Me</i> .....	476
17.4.	Zmienność własna i całkowita procesu.....	476
17.5.	Środki techniczne statystycznego sterowania procesem.....	477
Literatura .....		478

---

Skorowidz .....	481
-----------------	-----

---

Dodatek. Kolorowe ilustracje przyrządów pomiarowych.....	489
--	-----

---

Historia nauki odnotowała odkrycia i wyjątkowo ważne doświadczenia, które nieraz zupełnie zmieniły spojrzenie na jakąś dziedzinę wiedzy. Z całą pewnością można mówić o takich wydarzeniach w fizyce, astronomii lub biologii. Rodzi się pytanie, czy w metrologii wielkości geometrycznych wydarzyło się w XX wieku coś niezwykłego, co stało się zwrotem w jej historii, skierowało na nowe tory?

Rzeczywiście można wyróżnić w minionym wieku czterdzieści lat, w ciągu których nastąpiła cała seria ogromnie znaczących wydarzeń. Przełomową datą był rok 1960. Przy okazji uchwalania Międzynarodowego Układu Jednostek Miar przyjęto falową definicję metra. W tym samym roku wynaleziono laser, który później stał się „tworzywem” do przekazywania coraz to bardziej dokładnych informacji o długości. W roku 1967 rodzi się oparta na drganiach cezu definicja sekundy, zrywająca zupełnie ze zjawiskami astronomicznymi. W latach sześćdziesiątych wynaleziono współrzędnościowe maszyny pomiarowe. Komputery wspomagają pomiary, zwłaszcza współrzędnościowe. Pojawiają się wspaniałe wzorce inkrementalne, konkurujące pod względem dokładności z przemysłowymi interferometrami laserowymi. Dzięki racjonalnemu i perspektywicznemu przyjęciu wzorców metra oraz sekundy, zmierzono z wręcz fantastyczną precyzją prędkość światła w próżni.

W 1975 r. przyjęto prędkość światła w próżni jako wartość dokładną. Owocem tego ciągu zdarzeń była uchwalona w 1983 r. — na pozór abstrakcyjna — definicja metra, w której są zawarte potencjalne możliwości wzrostu dokładności, bez potrzeby zmieniania definicji. Przed rokiem 1960 międzynarodowy prototyp metra pozwalał na odtwarzanie wzorcowej długości z niepewnością standardową  $\pm 10^{-7}$ . Po czterdziestu latach, na koniec XX wieku, tę odległość można było odtworzyć widzialnym promieniowaniem lasera He-Ne z niepewnością standardową  $\pm 2,5 \cdot 10^{-11}$ , w podczerwieni zaś nawet z  $\pm 3 \cdot 10^{-12}$ . Dokładność wzrosła więc o 5 rzędów! Klamrą zamykającą XX wiek jest opublikowanie pod auspicjami ISO, ważnego dla metrologii w skali światowej, dokumentu ujednocniającego zasady obliczania niepewności pomiaru.

Bez przesady można stwierdzić, że w 1960 r. skończył się czas „pomiarów warsztatowych”, jak wówczas nazywano przemysłowe pomiary długości i kąta, a zaczęła się zupełnie nowa metrologia wielkości geometrycznych, o przeobrażonym nie do poznania obliczu. Z tą metrologią wkroczyliśmy w XXI wiek.

W ostatnim zmienionym, tzn. czwartym wydaniu książki położono szczególny nacisk na **aktualizację** treści, odnotowując wszelkie dostępne nowości, ważne dla przemysłu i nauki. W każdym rozdziale są jakieś uzupełnienia, zmiany, nowe rysunki i uaktualniona literatura. Zmiany widoczne są szczególnie w pomiarach odchyłek geometrycznych i chropowatości powierzchni — to nowe rozdziały. Autorzy dołożyli też starań aby stworzyć **most** między metrologią wielkości geometrycznych sprzed wydania poradnika do wyrażania niepewności pomiaru a czasem obecnym. Sprawa nie była łatwa, gdyż dawniej nie dbano konsekwentnie o podawanie niepewności pomiaru łącznie z poziomem ufności. Ponadto zmienił się sposób obliczania niepewności pomiaru. Podane przykłady wyjaśniają, przydatne zwłaszcza dla studentów i pracowników przemysłu, zasady wyznaczania niepewności pomiaru.

Książka jest adresowana do studentów wyższych uczelni technicznych, inżynierów oraz innych osób zajmujących się metrologią i jakością w budowie maszyn. Główny cel książki to wyjaśnienie kolejnych stadiów procesu pomiarowego, szczególnie w sytuacjach, gdy są stawiane wysokie wymagania dokładnościowe. Mierzenie w przemyśle nie może być oderwane od wymagań jakościowych części maszyn, dlatego we wprowadzeniu do pomiarów opisano odpowiednie układy tolerancji. Na wielką skalę używa się obecnie zupełnie nowych generacji przyrządów pomiarowych, najczęściej wspomaganych komputerem. Opisano teorię i praktykę pomiarów przy użyciu współrzędnościowych maszyn pomiarowych. Podkreślono znaczenie dokładności pomiarów. Trwa proces wprowadzania do praktyki norm serii ISO 9000 dotyczących zarządzania jakością. Dla ludzi pracujących w przemyśle oznacza to potrzebę dokumentowania procesu pomiarowego, dokonywania szybkiej analizy procesów oraz — w celu zapewnienia żądanych dokładności pomiarów — starannego sprawdzania przyrządów pomiarowych.

W pracy nad książką autorzy wykorzystali wieloletnie doświadczenie dydaktyczne zdobyte w Filii Politechniki Łódzkiej i później w Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, oraz praktyczne, wyniesione ze współpracy z przemysłem. Wiele praktycznych korzyści uzyskali autorzy realizując projekt programu TEMPUS pt. „World Class Manufacturing Implementation by Restructuring Engineering Courses; Culture Change by Uni/Industry Co-operation”, którego koordynatorem był Profesor dr h.c. Walter E. Rumpf z Fachhochschule we Frankfurcie nad Menem.

Autorzy brali też udział w dwóch projektach europejskich, których kontraktorem był Profesor dr inż. dr h.c. mult. Albert Weckenmann z Uniwersytetu w Erlangen — Nürnberg. Były to następujące projekty: Leonardo da Vinci pt. EUKOM — European training concept for Coordinate Metrology oraz Socrates-Minerwa pt. METROeLEARN — European e-learning course for Manufacturing Metrology. Profesor A. Weckenmann uczestniczył także jako partner w projekcie europejskim Leonardo da Vinci pt. Geometrical Product Specifications. Course for Technical Universities; kontraktorem tego projektu był dr inż. Zbigniew Humienny z Politechniki Warszawskiej. Czynny udział autorów w tych trzech projektach znalazł także pozytywne odbicie w treści książki.