
SPIS TREŚCI

Przedmowa	9
Wykaz ważniejszych oznaczeń	11
1. POMIARY I ICH NIEPEWNOŚĆ	13
1.1. Wielkości mierzalne i ich wartości	13
1.2. Międzynarodowy Układ Jednostek Miar SI	14
1.3. Pomiar i jego zasada. Wielkość mierzona i wielkości wpływowe	20
1.4. Metody pomiarowe	21
1.5. Błędy pomiarów i ich klasyfikacja	24
1.6. Błędy systematyczne i poprawki. Temperatura odniesienia i jej znaczenie	26
1.7. Błędy przypadkowe i niepewność pomiaru	28
1.8. Niepewność standardowa i jej szacowanie	31
1.9. Niepewność rozszerzona pomiaru	34
1.10. Błędy pomiarów pośrednich	37
1.11. Budżet niepewności	40
1.12. Reguły orzekania o zgodności ze specyfikacją	45
Literatura uzupełniająca	50
2. TOLERANCJE WYMIARÓW I ICH KODOWANIE. PASOWANIA	51
2.1. Wymiar i jego interpretacja	51
2.2. Wymiary graniczne i odchyłki graniczne. Tolerancja wymiaru	55
2.3. Przedział tolerancji – interpretacja deterministyczna i stochastyczna	60
2.4. Pasowanie i jego charakterystyka	63
2.5. Wymaganie powłoki	65
2.6. Układ kodowania ISO tolerancji wymiarów liniowych	67
2.7. Normalizacja pasowań. Układy pasowań stałego otworu i stałego wałka	74
2.8. Tolerancje ogólne	79
2.9. Tolerancja wymiaru a niepewność pomiarowa	81
Literatura uzupełniająca	82
3. ŁAŃCUCZY WYMIAROWE	83
3.1. Łańcuch wymiarowy i jego opis matematyczny	83
3.2. Obliczanie wymiaru zależnego i jego tolerancji	91
3.2.1. Metody deterministyczne	91
3.2.2. Metody stochastyczne	96

3.3. Analiza łańcuchów wymiarowych	99
3.4. Synteza łańcuchów wymiarowych	105
3.5. Zamienność w budowie maszyn	111
3.5.1. Istota zamienności	111
3.5.2. Zamienność całkowita i częściowa	112
3.5.3. Zamienność konstrukcyjna	116
3.5.4. Zamienność technologiczna	118
3.5.5. Zamienność selekcyjna	119
Literatura uzupełniająca	123
4. TOLERANCJE GEOMETRYCZNE	124
4.1. Dlaczego należy stosować tolerancje geometryczne	124
4.2. Tolerancje kształtu	130
4.3. Tolerancje kierunku	137
4.4. Tolerancje położenia	144
4.5. Tolerancje profilu linii i tolerancje profilu powierzchni	154
4.6. Tolerancje bicia	160
4.7. Tolerancje geometryczne zależne od wymiaru zaobserwowanego	166
Literatura uzupełniająca	176
5. POMIARY I SPRAWDZANIE DŁUGOŚCI I KĄTA – WYBRANE PRZYKŁADY	178
5.1. Wzorce wymiarów liniowych i kątowych	178
5.1.1. Uwagi ogólne	178
5.1.2. Płytki wzorcowe	178
5.1.3. Płytki kątowe i kątowniki	182
5.2. Pomiary przyrządami suwmiarkowymi	183
5.3. Pomiary przyrządami mikrometrycznymi	188
5.4. Kontrola wymiarów wewnętrznych i zewnętrznych za pomocą sprawdzianów	193
5.4.1. Uwagi ogólne	193
5.4.2. Sprawdziany do otworów	194
5.4.3. Sprawdziany do wałków	198
5.5. Pomiary różnicowe za pomocą czujników	201
5.6. Pomiary przyrządami optycznymi	210
5.6.1. Ogólna zasada i zastosowanie	210
5.6.2. Mikroskopy pomiarowe	211
5.6.3. Projektory pomiarowe	216
5.7. Pomiary za pomocą okrągłościomierzy	218
5.8. Współrzędnościowe systemy pomiarowe	220
Literatura uzupełniająca	234
6. STRUKTURA GEOMETRYCZNA POWIERZCHNI CZĘŚCI MASZYN I JEJ POMIARY	235
6.1. Struktura geometryczna powierzchni wyrobu	235
6.2. Profil powierzchni	237
6.3. Parametry chropowatości	240
6.3.1. Uwagi ogólne	240
6.3.2. Parametry pionowe	241
6.3.3. Parametry poziome i mieszane	243
6.3.4. Charakterystyczne krzywe	244
6.4. Inne parametry struktury geometrycznej powierzchni	246

6.5. Oznaczenia struktury geometrycznej powierzchni	249
6.6. Sposoby pomiaru i sprawdzania parametrów struktury geometrycznej powierzchni	251
6.7. Zasada „przekroju świetlnego” i jej realizacja	252
6.8. Profilografy i profilometry	254
6.9. Wzorce chropowatości	257
Literatura uzupełniająca	258
7. STATYSTYCZNA KONTROLA I STEROWANIE JAKOŚCIĄ	259
7.1. Pojęcia podstawowe	259
7.2. Podstawy SKJ odbiorczej i kryteria odbioru	262
7.3. Plany badania przy kontroli odbiorczej	271
7.4. SKJ bieżąca i jej metody	275
7.5. Analiza zdolności jakościowej. Wskaźniki zdolności	285
Literatura uzupełniająca	290
8. SPRAWDZANIE WYROBÓW O ZŁOŻONEJ GEOMETRII (WYBRANE PRZYKŁADY)	292
8.1. Gwinty metryczne (luźne)	292
8.1.1. Tolerancje gwintów metrycznych	292
8.1.2. Pomiary parametrów gwintu	297
8.1.3. Kontrola gwintu za pomocą sprawdzianów	300
8.2. Pomiary uzębień walcowych (w zarysie)	304
8.2.1. Uzębienie ewolwentowe	304
8.2.2. Pomiary grubości zęba	305
8.2.3. Pomiary podziałki	308
8.2.4. Pomiary odchyłek zarysu zęba	309
Literatura uzupełniająca	310
Dodatek	311
D.1. Parametry zmiennej losowej	311
D.2. Wybrane rozkłady zmiennych losowych	316

PRZEDMOWA

Skrypt jest przeznaczony dla studentów Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej jako literatura podstawowa do przedmiotu „metrologia i zamienność” oraz do „laboratorium metrologii i zmienności” (studia I stopnia – stacjonarne i niestacjonarne).

Zgodnie z programem studiów skrypt oprócz tematyki ściśle metrologicznej zawiera także wiadomości z zakresu tolerancji wielkości geometrycznych (specyfikacji geometrii wyrobów – GPS) i teorii łańcuchów wymiarowych. Jest to ujęcie mające długą tradycję w polskim piśmiennictwie technicznym, a także w dydaktyce wydziałów mechanicznych politechnik krajowych.

Skrypt można wykorzystać na studiach kierunku Mechanika i Budowa Maszyn, poza specjalnościami ściśle metrologicznymi. Może być szczególnie użyteczny dla specjalności konstrukcyjnych.

Dokumenty metrologii prawnej, podane w wykazach literatury uzupełniającej, są dostępne na oficjalnej stronie internetowej Głównego Urzędu Miar www.gum.gov.pl.

Rozdział 4 *Tolerancje geometryczne* został napisany od podstaw jako autorski przez Zbigniewa Humiennego. Pozostałe rozdziały skryptu zostały opracowane wspólnie przez trzech współautorów, przy czym częściowo wykorzystano materiał zawarty w skrypcie *Metrologia techniczna z podstawami tolerowania wielkości geometrycznych dla mechaników* autorstwa Sławomira Białasa (Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2006).

W drugim znowelizowanym wydaniu skryptu zaktualizowano rysunki i tekst w rozdziałach 2 i 4; m.in. pokazano ustalenia z najnowszych norm ISO 14405-1:2016, ISO 1101:2017, ISO 1660:2017, ISO 5458:2018, ISO 2692:2021, ISO 22081:2021 dotyczących specyfikacji geometrii wyrobów, które zostały opublikowane po pierwszym wydaniu skryptu. Ponadto w związku z wprowadzeniem od 20 maja 2019 roku nowych definicji jednostek miar Międzynarodowego Układu Jednostek Miar SI uaktualniono podrozdział 1.2. Dodano również dwa nowe podrozdziały 1.11 i 1.12. W pozostałych rozdziałach wprowadzono drobne zmiany i korekty terminologiczne oraz usunięto dostrzeżone błędy edytorskie.

Autorzy dziękują recenzentowi dr hab. inż. Władysławowi Jakubcowi profesorowi Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsko-Białej za wiele cennych uwag, które przyczyniły się do doskonalenia pierwszego wydania skryptu oraz za wsparcie przy pracy nad drugą edycją skryptu.

Korzystając z okazji jaką jest publikacja drugiego zaktualizowanego wydania niniejszego skryptu Zbigniew Humienny oraz Krzysztof Kiszka chcieliby wspomnieć współautora, zmarłego w 2018 roku Profesora dr. hab. inż. Sławomira Białasa, ich mentora, znakomitego dydaktyka i przede wszystkim wybitnego specjalistę w zakresie metrologii wielkości geometrycznych, specyfikacji geometrii wyrobów, zamienności części maszyn i normalizacji, który już w latach 70. napisał pierwszy skrypt z tego zakresu. Profesor był człowiekiem niezwykle życzliwym i serdecznym zarówno wobec współpracowników jak i studentów, oprócz wiedzy specjalistycznej posiadał szeroką wiedzę ogólną. Odejście Profesora Sławomira Białasa jest niepowetowaną stratą zarówno dla nauki jak i dla nas.

*dr hab. inż. Zbigniew Humienny
dr inż. Krzysztof Kiszka
czerwiec 2021*