

Sławomir Judek, Jacek Skibicki

METROLOGIA W TRANSPORCIE

LABORATORIUM

Gdańsk 2022

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Dariusz Mikielewicz

RECENZENT

Miroslav Gutten

REDAKCJA JĘZYKOWA

Agnieszka Frankiewicz

PROJEKT OKŁADKI

Jacek Skibicki

na okładce: ustalanie wzorca stopy – Niemcy XVI wiek

(źródło: Witkowski B., *Miary i pomiary, czyli o międzynarodowym układzie SI*. Młody Technik 8/1966)

Wydanie II – 2015

Wydano za zgodą

Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem

<https://www.sklep.pg.edu.pl>

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie
i w jakiegokolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy.

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2022

ISBN 978-83-7348-600-3

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Dodruk II wyd. Ark. wyd. 10,4, ark. druku 11,0, 1265/1190

Druk i oprawa: Volumina.pl Daniel Krzanowski

ul. Księcia Witolda 7-9, 71-063 Szczecin, tel. 91 812 09 08

Spis treści

Od autorów	7
X. Opracowywanie i prezentacja wyników pomiarowych	9
X.1. Wprowadzenie	9
X.2. Podstawowe pojęcia	9
X.3. Źródła niepewności pomiaru	11
X.4. Obliczanie niepewności pomiarowych	12
X.4.1. Wyznaczanie niepewności przy pomiarach bezpośrednich	12
X.4.2. Wyznaczanie niepewności przy pomiarach pośrednich	15
X.4.3. Wyznaczanie niepewności rozszerzonej	16
X.5. Prawidłowy zapis wyniku pomiaru	17
X.5.1. Zaokrąglanie niepewności pomiaru	17
X.5.2. Dostosowywanie liczby cyfr znaczących wyniku do niepewności	17
X.6. Wyznaczanie zależności pomiędzy wielkościami mierzonymi – regresja liniowa	18
X.7. Graficzne przedstawianie wyników pomiarowych	19
X.8. Numeryczne całkowanie i różniczkowanie przebiegów pomiarowych	20
X.9. Cyfrowa filtracja sygnałów pomiarowych	21
X.10. Przetworniki pomiarowe – parametry	22
X.11. Przykłady poprawnego opracowania wyników pomiarowych	24
X.12. Sporządzanie sprawozdania	42
X.13. Literatura	43
1. Pomiary bezpośrednie, pośrednie, pojedyncze i wielokrotne	45
1.1. Wprowadzenie	45
1.2. Cel i zakres ćwiczenia	46
1.3. Przebieg ćwiczenia	46
1.3.1. Pomiar bezpośredni masy obiektu	46
1.3.2. Pośredni pomiar gęstości	48
1.3.3. Pomiar napięcia stałego jako przykład pomiaru wielokrotnego	49
1.4. Pytania kontrolne	50
1.5. Zagadnienia problemowe	51
1.6. Literatura	52
2. Pomiary wielkości elektrycznych	53
2.1. Wprowadzenie	53
2.1.1. Definicje podstawowych wielkości elektrycznych	54
2.1.2. Pomiar napięcia woltomierzem	56
2.1.3. Pomiar natężenia prądu amperomierzem	59
2.1.4. Pomiar mocy watomierzem	62

2.1.5. Pomiar energii elektrycznej licznikiem	64
2.1.6. Pomiary przyrządami uniwersalnymi – multimetrami	65
2.1.7. Symbole graficzne występujące na miernikach analogowych	66
2.1.8. Inne urządzenia elektryczne używane w praktyce laboratoryjnej	68
2.1.9. Odczytywanie wyników pomiarów z mierników wielkości elektrycznych	71
2.1.10. Łączenie elektrycznych obwodów pomiarowych	72
2.2. Cel i zakres ćwiczenia	73
2.3. Przebieg ćwiczenia	74
2.3.1. Pomiar rezystancji metodą bezpośrednią przy wykorzystaniu multimetru	74
2.3.2. Pomiar rezystancji metodą pośrednią poprzez pomiar napięcia i natężenia prądu	74
2.3.3. Pomiar mocy w obwodzie jednofazowym prądu przemiennego	76
2.3.4. Pomiar energii elektrycznej	77
2.3.5. Pomiar prądu rozruchu licznika energii elektrycznej	79
2.4. Pytania kontrolne	79
2.5. Zagadnienia problemowe	80
2.6. Literatura	81
3. Obserwacje, obrazowanie i badania oscyloskopowe	83
3.1. Wprowadzenie	83
3.1.1. Podstawowe cechy i funkcjonalność oscyloskopu	83
3.1.2. Podstawowe cechy i funkcjonalność rejestratora	85
3.1.3. Możliwości pomiarowe oscyloskopów i rejestratorów	85
3.2. Cel i zakres ćwiczenia	86
3.3. Przebieg ćwiczenia	86
3.3.1. Obserwacja przebiegów napięciowych o kształtach podstawowych	86
3.3.2. Pomiar częstotliwości składowych przebiegu złożonego przy użyciu analizy częstotliwościowej	88
3.3.3. Detekcja różnicy częstotliwości za pomocą obserwacji krzywych Lissajous	89
3.3.4. Rejestracja przebiegów wolnozmiennych	90
3.4. Pytania kontrolne	91
3.5. Zagadnienia problemowe	91
3.6. Literatura	92
4. Pomiary parametrów oświetlenia	93
4.1. Wprowadzenie	93
4.1.1. Pojęcia podstawowe	94
4.1.2. Wymagane parametry oświetlenia w zależności od miejsca i okoliczności	99
4.1.3. Metody pomiaru parametrów oświetlenia	100
4.2. Cel i zakres ćwiczenia	104
4.3. Przebieg ćwiczenia	104
4.3.1. Pomiar natężenia oświetlenia	104
4.3.2. Pomiar czasu zapłonu	105
4.3.3. Pomiar rozkładu natężenia oświetlenia	106
4.4. Pytania kontrolne	107

4.5. Zagadnienia problemowe	107
4.6. Literatura	109
5. Pomiary temperatury	111
5.1. Wprowadzenie	111
5.1.1. Skale temperatury	111
5.1.2. Praktyczna realizacja pomiaru temperatury	113
5.1.3. Pomiary czujnikami rezystancyjnymi metalowymi	115
5.1.4. Pomiary czujnikami rezystancyjnymi półprzewodnikowymi	118
5.1.5. Pomiary czujnikami termoelektrycznymi	119
5.1.6. Bezstykowy pomiar temperatury	121
5.2. Cel i zakres ćwiczenia	127
5.3. Przebieg ćwiczenia	128
5.3.1. Pomiar temperatury metodami stykowymi	128
5.3.2. Pomiar temperatury metodami bezstykowymi	129
5.3.3. Wyznaczanie emisyjności materiału metodą doświadczalną	130
5.3.4. Pomiar procesu chłodzenia obiektu fizycznego	130
5.4. Pytania kontrolne	130
5.5. Zagadnienia problemowe	131
5.6. Literatura	132
6. Pomiary parametrów ruchu	133
6.1. Wprowadzenie	133
6.1.1. Zależności pomiędzy wielkościami opisującymi ruch obiektu w przestrzeni	133
6.1.2. Urządzenia do pomiaru parametrów ruchu	134
6.2. Cel i zakres ćwiczenia	139
6.3. Przebieg ćwiczenia	140
6.3.1. Badanie charakterystyki zewnętrznej prądnicy tachometrycznej	140
6.3.2. Pomiary przy użyciu enkodera przyrostowego	141
6.3.3. Pomiary przy użyciu żyroskopu prędkościowego	142
6.3.4. Pomiary przy użyciu akcelometru	143
6.4. Pytania kontrolne	144
6.5. Zagadnienia problemowe	144
6.6. Literatura	145
7. Pomiary sił i odkształceń	147
7.1. Wprowadzenie	147
7.1.1. Urządzenia do pomiaru siły	147
7.1.2. Urządzenia do pomiaru odkształceń	149
7.2. Cel i zakres ćwiczenia	150
7.3. Przebieg ćwiczenia	150
7.3.1. Badanie charakterystyki zewnętrznej przetwornika tensometrycznego	150
7.3.2. Wyznaczanie modułu Younga metodą pomiaru strzałki ugięcia	152
7.4. Pytania kontrolne	154

7.5. Zagadnienia problemowe	155
7.6. Literatura	156
8. Sprawdzanie urządzeń pomiarowych metodą porównania z wzorcem	157
8.1. Wprowadzenie	157
8.1.1. Wzorce pomiarowe	157
8.1.2. Hierarchia wzorców	160
8.1.3. Legalizacja urządzeń pomiarowych	161
8.2. Cel i zakres ćwiczenia	161
8.3. Przebieg ćwiczenia	161
8.3.1. Sprawdzenie odważnika handlowego zwyczajnego	161
8.3.2. Sprawdzenie wagi odważnikowo-uchylnej	165
8.3.3. Sprawdzenie wagi elektronicznej z czujnikiem tensometrycznym	167
8.3.4. Sprawdzenie multimetru uniwersalnego	169
8.4. Pytania kontrolne	172
8.5. Zagadnienia problemowe	172
8.6. Literatura	173

Od autorów

Pojęcie miary jest jednym z najczęściej występujących pojęć we współczesnym świecie. Każdego dnia wielokrotnie używamy go w rozmaitych kontekstach, niejednokrotnie podświadomie i automatycznie. Pomiary różnych wielkości porządkują zasady gospodarki i wymiany handlowej. Nie istnieje praktycznie działalność, która w jakiś sposób nie byłaby związana z pomiarami. Dlatego ważne jest, aby inżynier posiadał podstawowe umiejętności z dziedziny przeprowadzania pomiarów różnych wielkości oraz potrafił prawidłowo zapisać i zinterpretować uzyskane wyniki. Nabycie tej umiejętności pozwoli na precyzyjne i jednoznaczne poruszanie się w świecie przemysłu, nauki i techniki.

Niniejszy skrypt zawiera komplet instrukcji do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu *metrologia*, realizowanego na kierunku *transport*. Zestaw zagadnień obejmuje podstawowe dziedziny metrologii ogólnej z pewnym ukierunkowaniem na wielkości pomiarowe szczególnie istotne w problematyce transportowej. Mimo złożoności tematu starano się zachować przejrzystość wykładu i prostotę języka, tak by ułatwić zrozumienie skomplikowanych niekiedy zagadnień metrologicznych. Książka ta może być przydatna również inżynierom, technikom i innym osobom zainteresowanym problemami pomiarowymi.