

KRZYSZTOF SUCHOCKI

**SENSORY
I PRZETWORNIKI
POMIAROWE
LABORATORIUM**

Gdańsk 2016

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Janusz T. Cieśliński

RECENZENT

Wojciech Toczek

REDAKCJA JĘZYKOWA

Agnieszka Frankiewicz

PROJEKT OKŁADKI

Katarzyna Olszonowicz

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem
<http://www.pg.edu.pl/wydawnictwo/katalog>
zamówienia prosimy kierować na adres wydaw@pg.gda.pl

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

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2016

ISBN 978-83-7348-661-4

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Wydanie I. Ark. wyd. 21,8, ark. druku 27,0, 1130/922

Druk i oprawa: Totem.com.pl, sp. z o.o., sp. k.
ul. Jacewska 89, 88-100 Inowrocław, tel. 52 354 00 40

SPIS TREŚCI

| | |
|---|-----------|
| Przedmowa | 15 |
| WSTĘP | 17 |
| 1. Cele i zakres laboratorium | 17 |
| 2. Spodziewane efekty kształcenia – umiejętności i kompetencje | 17 |
| 3. Spis ćwiczeń laboratoryjnych | 17 |
| 4. Regulamin laboratorium | 18 |
| 5. Wykonanie pomiarów | 19 |
| 6. Zaliczenie laboratorium | 20 |
| 7. Sposób przygotowania sprawozdania laboratoryjnego | 20 |
| 8. Postępowanie w przypadku porażenia prądem | 24 |
| 8.1. Zasady wzywania pomocy | 25 |
| 8.2. Zasady udzielania pierwszej pomocy | 25 |
| METODY OBRÓBKI DANYCH POMIAROWYCH | 31 |
| 1. Jednostki miar wielkości fizycznych | 31 |
| 2. Wzorce jednostek miar | 33 |
| 3. Podstawy teoretyczne obróbki danych pomiarowych | 34 |
| 3.1. Wyznaczanie niepewności typu A | 34 |
| 3.2. Wyznaczanie niepewności typu B | 37 |
| 3.3. Wyznaczanie niepewności złożonej | 37 |
| 3.3.1. Pomiary bezpośrednie | 37 |
| 3.3.2. Pomiary pośrednie | 38 |
| 3.4. Przybliżone metody wyznaczania niepewności rozszerzonej | 39 |
| ĆWICZENIA | 43 |
| C1. Pomiary tensometryczne | 43 |
| C1.1. Cel ćwiczenia | 43 |
| C1.2. Wykaz aparatury | 43 |
| C1.3. Podstawy teoretyczne pomiarów tensometrycznych | 44 |
| C1.3.1. Zasada działania tensometrów | 44 |
| C1.3.2. Parametry tensometrów | 46 |
| C1.3.3. Budowa i zasada działania mostków tensometrycznych | 47 |
| C1.4. Stanowisko laboratoryjne do badania tensometrów | 53 |
| C1.5. Zadania pomiarowe | 55 |
| C1.5.1. Wzorcowanie ćwierćmostka tensometrycznego w zakresie $\varepsilon = 0,001 \div 0,01$ | 55 |
| C1.5.2. Wpływ napięcia zasilania ćwierćmostka tensometrycznego na jego czułość przy $\varepsilon = 0,001 \div 0,01$ | 56 |

| | | |
|------------|---|----|
| C1.5.3. | Wzorcowanie ćwierćmostka tensometrycznego w zakresie $\varepsilon = 0,01 \div 0,1$... | 57 |
| C1.5.4. | Wpływ napięcia zasilania ćwierćmostka tensometrycznego na jego czułość przy $\varepsilon = 0,01 \div 0,1$ | 58 |
| C1.5.5. | Wzorcowanie półmostka tensometrycznego w zakresie $\varepsilon = 0,001 \div 0,01$ | 58 |
| C1.5.6. | Wpływ napięcia zasilania półmostka tensometrycznego na jego czułość przy $\varepsilon = 0,001 \div 0,01$ | 59 |
| C1.5.7. | Wzorcowanie półmostka tensometrycznego w zakresie $\varepsilon = 0,01 \div 0,1$ | 60 |
| C1.5.8. | Wpływ napięcia zasilania półmostka tensometrycznego na jego czułość przy $\varepsilon = 0,01 \div 0,1$ | 60 |
| C1.5.9. | Wzorcowanie tensometrów w układzie półmostka metodą pomiaru strzałki ugięcia | 61 |
| C1.5.10. | Wzorcowanie tensometrów w układzie pełnego mostka metodą pomiaru strzałki ugięcia | 62 |
| C1.5.11. | Wzorcowanie tensometrów w układzie półmostka metodą obciążenia belki znaną siłą | 63 |
| C1.5.12. | Wzorcowanie tensometrów w układzie pełnego mostka metodą obciążenia belki znaną siłą | 64 |
| C1.5.13. | Pomiar odkształceń w belce o przekroju równomiernym tensometrami w układzie półmostka | 65 |
| C1.5.14. | Pomiar odkształceń w belce o przekroju równomiernym tensometrami w układzie pełnego mostka | 66 |
| C1.5.15. | Pomiar odkształceń wzdłużnych próbki i wyznaczenie jej modułu sprężystości | 67 |
| C1.5.16. | Wyznaczanie wpływu temperatury na dokładność pomiaru tensometrami w układzie ćwierćmostka | 68 |
| C1.5.17. | Wyznaczanie wpływu temperatury na dokładność pomiaru tensometrami w układzie półmostka | 69 |
| C1.6. | Opracowanie wyników wykonanych pomiarów | 70 |
| C1.6.1. | Polecenia do wykonania | 70 |
| C2. | Sensory indukcyjne | 72 |
| C2.1. | Cel ćwiczenia | 72 |
| C2.2. | Wykaz aparatury | 72 |
| C2.3. | Podstawy teoretyczne pomiarów czujnikami indukcyjnymi | 73 |
| C2.3.1. | Zasada działania czujników indukcyjnych dławikowych | 73 |
| C2.3.2. | Przetwornik indukcyjny dławikowy, różnicowy | 75 |
| C2.3.3. | Przetwornik indukcyjny solenoidalny | 77 |
| C2.3.4. | Przetwornik indukcyjny transformatorowy | 78 |
| C2.3.5. | Typowe układy pracy czujników indukcyjnych | 79 |
| C2.4. | Stanowisko laboratoryjne do badania czujników indukcyjnych | 81 |
| C2.5. | Zadania pomiarowe | 83 |
| C2.5.1. | Badanie przetwornika solenoidalnego | 83 |
| C2.5.2. | Badanie wpływu zewnętrznego, zakłócającego pola magnetycznego na pracę przetwornika indukcyjnego | 85 |
| C2.5.3. | Badanie właściwości ćwierćmostka pomiarowego | 87 |
| C2.5.4. | Wpływ napięcia polaryzacji na czułość ćwierćmostka pomiarowego | 89 |
| C2.5.5. | Wpływ częstotliwości napięcia polaryzacji na czułość ćwierćmostka pomiarowego | 90 |
| C2.5.6. | Badanie właściwości półmostka pomiarowego | 90 |
| C2.5.7. | Wpływ napięcia polaryzacji na czułość półmostka pomiarowego | 91 |

| | |
|---|------------|
| C2.5.8. Wpływ częstotliwości napięcia polaryzacji na czułość półmostka pomiarowego | 92 |
| C2.5.9. Badanie przetwornika transformatorowego | 92 |
| C2.5.10. Wpływ napięcia polaryzacji na czułość przetwornika transformatorowego | 94 |
| C2.5.11. Wpływ częstotliwości napięcia polaryzacji na czułość przetwornika transformatorowego | 95 |
| C2.5.12. Badanie przetwornika transformatorowego PSz-10 | 95 |
| C2.5.13. Badania przemieszczeń wału silnika przetwornikami dławikowymi o zmiennej szczelinie powietrznej | 97 |
| C2.5.13.1. Pomiar statyczny bicia wału silnika elektrycznego | 97 |
| C2.5.13.2. Pomiar dynamiczny bicia wału silnika elektrycznego | 98 |
| C2.5.14. Badanie charakterystyki przetwornika indukcyjnego zbliżeniowego | 99 |
| C2.5.15. Badanie właściwości grubościomierzy magnetycznych | 103 |
| 2.5.15.1. Wpływ podłoża na dokładność pomiaru grubościomierzami ... | 104 |
| C2.6. Opracowanie wyników wykonanych pomiarów | 106 |
| C2.6.1. Polecenia do wykonania | 106 |
| C3. Pomiary sejsmiczne | 108 |
| C3.1. Cel ćwiczenia | 108 |
| C3.2. Wykaz aparatury | 108 |
| C3.3. Podstawy teoretyczne pomiarów czujnikami sejsmicznymi | 109 |
| C3.3.1. Metody wyznaczania własności dynamicznych przetworników II rzędu | 112 |
| C3.3.1.1. Metoda czasowa wyznaczania własności dynamicznych | 112 |
| C3.3.1.2. Metoda częstotliwościowa wyznaczania własności dynamicznych | 114 |
| C3.3.2. Piezoelektryczny akcelerometr sejsmiczny | 116 |
| C3.4. Stanowisko laboratoryjne do badania przetworników II rzędu | 120 |
| C3.5. Zadania pomiarowe | 121 |
| C3.5.1. Pomiar charakterystyki statycznej wytrząsarki | 121 |
| C3.5.2. Rejestracja odpowiedzi skokowej wytrząsarki | 123 |
| C3.5.3. Pomiar charakterystyki przejściowej wytrząsarki | 124 |
| C3.5.4. Pomiar charakterystyki przejściowej elektrodynamicznego przetwornika sejsmicznego | 125 |
| C3.5.5. Pomiar charakterystyki amplitudowo–częstotliwościowej elektrodynamicznego przetwornika sejsmicznego | 126 |
| C3.6. Opracowanie wyników wykonanych pomiarów | 127 |
| C3.6.1. Polecenia do wykonania | 127 |
| C4. Termorezystory i termopary | 128 |
| C4.1. Cel ćwiczenia | 128 |
| C4.2. Wykaz aparatury | 128 |
| C4.3. Podstawy teoretyczne | 128 |
| C4.3.1. Termopary | 129 |
| C4.3.2. Metalowe przetworniki rezystancyjne | 130 |
| C4.3.3. Półprzewodnikowe przetworniki termometryczne | 132 |
| C4.3.3.1. Typowe układy pomiarowe przetworników rezystancyjnych | 133 |
| C4.3.4. Właściwości dynamiczne przetworników termometrycznych | 136 |
| C4.4. Stanowisko laboratoryjne do badania termopar i przetworników termometrycznych | 138 |
| C4.5. Zadania pomiarowe | 141 |
| C4.5.1. Badanie właściwości metrologicznych „wirtualnych” termopar | 141 |

| | | |
|------------|--|------------|
| C4.5.1.1. | Wyznaczanie charakterystyki przetwarzania wybranej termopary „wirtualnej” | 141 |
| C4.5.1.2. | Wpływ temperatury odniesienia na charakterystykę przetwarzania wybranej termopary „wirtualnej” | 142 |
| C4.5.1.3. | Wyznaczanie charakterystyki przetwarzania wybranej termopary rzeczywistej | 142 |
| C4.5.1.4. | Badanie wpływu układu pomiarowego na dokładność pomiaru temperatury termoparą „wirtualną” | 143 |
| C4.5.1.5. | Badanie wpływu układu pomiarowego na dokładność pomiaru temperatury termoparą rzeczywistą | 145 |
| C4.5.1.6. | Badanie właściwości dynamicznych termopar | 146 |
| C4.5.1.7. | Badanie wpływu osłony termopary na jej właściwości dynamiczne | 147 |
| C4.5.2. | Badanie właściwości metrologicznych rezystancyjnych przetworników termometrycznych | 149 |
| C4.5.2.1. | Badanie charakterystyki statycznej rezystancyjnych przetworników termometrycznych | 149 |
| C4.5.2.2. | Wpływ wartości prądu polaryzującego rezystancyjny przetwornik termometryczny na dokładność pomiaru temperatury | 150 |
| C4.5.2.3. | Wpływ otoczenia rezystancyjnego przetwornika termometrycznego na zjawisko samoogrzewania | 151 |
| C4.5.2.4. | Wpływ linii dwuprzewodowej na dokładność pomiaru temperatury | 152 |
| C4.5.2.5. | Wpływ linii trójprzewodowej na dokładność pomiaru temperatury | 153 |
| C4.5.2.6. | Wpływ linii czteroprzewodowej na dokładność pomiaru temperatury | 153 |
| C4.5.2.7. | Badanie właściwości dynamicznych rezystancyjnych przetworników termometrycznych | 155 |
| C4.5.2.8. | Badanie wpływu osłony ochronnej rezystancyjnych przetworników termometrycznych na ich właściwości dynamiczne | 156 |
| C4.5.2.9. | Badanie wpływu prądu polaryzującego na właściwości dynamicznych rezystancyjnych przetworników termometrycznych bez osłony ochronnej | 156 |
| C4.5.2.10. | Badanie wpływu prądu polaryzującego na właściwości dynamicznych rezystancyjnych przetworników termometrycznych umieszczonych w osłonie ochronnej | 158 |
| C4.6. | Opracowanie wyników wykonanych pomiarów | 160 |
| C4.6.1. | Polecenia do wykonania | 160 |
| C5. | Czujniki impulsowe i kodowe | 162 |
| C5.1. | Cel ćwiczenia | 162 |
| C5.2. | Wykaz aparatury | 162 |
| C5.3. | Podstawy teoretyczne | 162 |
| C5.3.1. | Pomiar prędkości obrotowej metodą stroboskopową | 164 |
| C5.3.2. | Pomiar prędkości obrotowej prądnicą tachometryczną | 165 |
| C5.3.3. | Elektroniczne systemy pomiaru kątów | 166 |
| C5.3.3.1. | Kodowy system pomiaru kątów | 167 |
| C5.3.3.2. | Impulsowy system pomiaru kątów | 168 |
| C5.4. | Stanowisko laboratoryjne do badania przetworników prędkości obrotowej i przemieszczeń | 170 |
| C5.5. | Zadania pomiarowe | 172 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| C5.5.1. | Badanie właściwości metrologicznych fotoelektrycznych przetworników prędkości obrotowej | 172 |
| C5.5.1.1. | Badanie właściwości metrologicznych przyrządu fotooptycznego RM-1501 | 172 |
| C5.5.1.2. | Pomiar prędkości obrotowej tachometrem optoelektronicznym | 173 |
| C5.5.2. | Badanie właściwości prądnic tachometrycznej | 175 |
| C5.5.2.1. | Badanie wpływu układu pomiarowego na dokładność pomiaru prądnicą tachometryczną | 176 |
| C5.5.3. | Badanie właściwości przetworników impulsowych do pomiaru prędkości obrotowej | 178 |
| C5.5.3.1. | Badanie właściwości przetwornika kodowego Graya M 500 | 178 |
| C5.5.3.2. | Badanie właściwości przetwornika obrotowo-impulsowego MOL 313-250-PB | 179 |
| C5.5.4. | Badanie właściwości przetworników do pomiaru małych odległości/przemieszczeń | 180 |
| C5.5.4.1. | Badanie właściwości przetwornika optoelektronicznego MS-50.11. | 180 |
| C5.5.4.2. | Badanie właściwości przetwornika optoelektronicznego linkowego HLS-S-02-004 | 180 |
| C5.5.4.3. | Badanie właściwości przetwornika rezystancyjnego CLP 21-100 | 181 |
| C5.6. | Opracowanie wyników wykonanych pomiarów | 182 |
| C5.6.1 | Polecenia do wykonania | 183 |
| 6. | Czujniki siły i ciśnienia | 184 |
| C6.1. | Cel ćwiczenia | 184 |
| C6.2. | Wykaz aparatury | 184 |
| C6.3. | Podstawy teoretyczne | 184 |
| C6.3.1. | Metody pomiaru ciśnienia | 185 |
| C6.3.1.1. | Sprężyste czujniki ciśnienia | 186 |
| C6.3.1.2. | Piezoelektryczne czujniki ciśnienia | 187 |
| C6.3.1.3. | Rezystancyjne czujniki ciśnienia | 187 |
| C6.3.1.4. | Pojemnościowe czujniki ciśnienia | 188 |
| C6.3.1.5. | Indukcyjne czujniki ciśnienia | 189 |
| C6.4. | Stanowisko laboratoryjne do badania belek tensometrycznych i przetworników ciśnienia | 190 |
| C6.5. | Zadania pomiarowe | 196 |
| C6.5.1. | Badanie tensometrycznego czujnika siły NS 6 | 196 |
| C6.5.1.1. | Wyznaczanie charakterystyki przetwarzania tensometrycznego czujnika siły NS 6 | 196 |
| C6.5.1.2. | Wyznaczanie wpływu napięcia polaryzującego na charakterystykę przetwarzania czujnika siły NS 6 | 198 |
| C6.5.2. | Badanie parametrów tensometrycznego czujnika siły KM 200 | 199 |
| C6.5.2.1 | Wyznaczanie charakterystyki przetwarzania czujnika siły KM 200 | 199 |
| C6.5.2.2. | Wyznaczanie wpływu napięcia polaryzacyjnego na charakterystykę przetwarzania czujnika siły KM 200 | 200 |
| C6.5.3. | Badanie belek tensometrycznych BTENS-N27 | 201 |
| C6.5.3.1 | Wyznaczanie charakterystyki przetwarzania belki tensometrycznej BTENS-N27 | 201 |
| C6.5.3.2. | Wyznaczanie wpływu napięcia polaryzacyjnego na charakterystykę przetwarzania belki tensometrycznej BTENS-N27 | 204 |
| C6.5.4. | Badanie wpływu sposobu mocowania belki tensometrycznej BTENS-N27 na jej charakterystykę przetwarzania | 205 |

| | | |
|---------------------------------------|---|-----|
| C6.5.4.1. | Wyznaczanie wpływu jednostronnego mocowania belki tensometrycznej BTENS-N27 na jej charakterystykę przetwarzania | 205 |
| C6.5.4.2. | Wyznaczanie wpływu dwustronnego mocowania belki tensometrycznej BTENS-N27 na jej charakterystykę przetwarzania | 207 |
| C6.5.5. | Badanie tensometrycznych czujników ciśnienia | 209 |
| C6.5.5.1 | Badanie parametrów tensometrycznego czujnika ciśnienia z wyjściem prądowym | 209 |
| C6.5.6. | Badanie właściwości tensometrycznego czujnika ciśnienia z wyjściem napięciowym | 212 |
| C6.5.6.1. | Wyznaczanie charakterystyki przetwarzania tensometrycznego przetwornika ciśnienia bez wzmacniacza sygnału | 212 |
| C6.5.6.2. | Wyznaczanie wpływu napięcia polaryzacyjnego na charakterystykę przetwarzania czujnika ciśnienia bez wzmacniacza sygnału | 213 |
| C6.5.6.3. | Wyznaczanie właściwości dynamicznych czujnika ciśnienia bez wzmacniacza sygnału | 214 |
| C6.5.7. | Badanie parametrów piezorezystywnego czujnika ciśnienia CL-1L | 215 |
| C6.5.7.1. | Wyznaczanie charakterystyki przetwarzania piezorezystywnego czujnika ciśnienia | 215 |
| C6.5.7.2. | Wyznaczanie wpływu napięcia polaryzacyjnego na charakterystykę przetwarzania piezorezystywnego czujnika ciśnienia | 216 |
| C6.5.7.3. | Badanie właściwości dynamicznych piezorezystywnego czujnika ciśnienia | 217 |
| C6.6. | Opracowanie wyników wykonanych pomiarów | 217 |
| C6.6.1. | Polecenia do wykonania | 217 |
| C7. Czujniki wilgotności | | 219 |
| C7.1. | Cel ćwiczenia | 219 |
| C7.2. | Wykaz aparatury | 219 |
| C7.3. | Podstawy teoretyczne | 219 |
| C7.3.1. | Metody pomiaru wilgotności | 221 |
| C7.3.1.1. | Metody grawimetryczne | 221 |
| C7.3.1.2. | Metody higroskopowe | 221 |
| C7.3.1.3. | Metody termometryczne | 222 |
| C7.3.1.4. | Metody chemiczne | 223 |
| C7.3.1.5. | Metody elektryczne | 223 |
| C7.4. | Metody kalibracji wilgotnościomierzy | 227 |
| C7.4.1. | Roztwory higrostatyczne | 227 |
| C7.5. | Stanowisko laboratoryjne do badania czujników wilgotności | 228 |
| C7.6. | Zadania pomiarowe | 231 |
| C7.6.1. | Badanie mostka zmiennoprądowego RLC | 231 |
| C7.6.1.1. | Wyznaczanie wpływu długości kabli podłączeniowych na dokładność pomiaru rezystancji | 231 |
| C7.6.1.2. | Wyznaczanie wpływu długości kabli podłączeniowych na dokładność pomiaru pojemności | 233 |
| C7.6.2. | Badanie parametrów rezystancyjnych czujników wilgotności | 235 |
| C7.6.2.1. | Wyznaczanie charakterystyki przetwarzania rezystancyjnego czujnika wilgotności | 235 |
| C7.6.2.2. | Wpływ napięcia polaryzacyjnego na parametry rezystancyjnego czujnika wilgotności | 236 |
| C7.6.2.3. | Właściwości dynamiczne rezystancyjnego czujnika wilgotności | 237 |

| | | |
|------------|---|------------|
| C7.6.3. | Badanie parametrów pojemnościowych czujników wilgotności | 238 |
| C7.6.3.1. | Wyznaczanie charakterystyki przetwarzania pojemnościowego czujnika wilgotności | 238 |
| C7.6.3.2. | Wpływ napięcia polaryzacyjnego na parametry pojemnościowego czujnika wilgotności | 239 |
| C7.6.3.3. | Właściwości dynamiczne pojemnościowego czujnika wilgotności | 240 |
| C7.6.4. | Badanie właściwości metrologicznych mikroukładu do pomiaru wilgotności .. | 241 |
| C7.6.4.1. | Wyznaczanie charakterystyki przetwarzania mikroukładu | 241 |
| C7.6.4.2. | Wpływ napięcia polaryzacyjnego na charakterystykę przetwarzania mikroukładu | 242 |
| C7.6.4.3. | Właściwości dynamiczne mikroukładu | 243 |
| C7.6.5. | Pomiar wilgotności względnej metodą psychrometryczną | 244 |
| C7.7. | Opracowanie wyników pomiarów | 246 |
| C7.7.1. | Polecenia do wykonania | 246 |
| C8. | Pirometria optyczna | 247 |
| C8.1. | Cel ćwiczenia | 247 |
| C8.2. | Wykaz aparatury | 247 |
| C8.3. | Podstawy teoretyczne | 248 |
| C8.3.1. | Pirometr radiacyjny (całkowitego promieniowania) | 255 |
| C8.3.1.1. | Pomiar temperatury ciał nieczarnych | 256 |
| C8.3.1.2. | Rozszerzenie zakresu pomiarowego | 256 |
| C8.4. | Pirometry fotoelektryczne (pasmowe) | 256 |
| C8.4.1. | Detektory promieniowania pirometrów fotoelektrycznych | 258 |
| C8.4.1.1. | Fotorezystory | 258 |
| C8.4.1.2. | Fotodiody | 259 |
| C8.4.2. | Pomiar temperatury ciał nieczarnych | 260 |
| C8.4.3. | Rozszerzenie zakresu pomiarowego | 261 |
| C8.5. | Stanowisko laboratoryjne do badania pirometrów | 261 |
| C8.6. | Zadania pomiarowe | 265 |
| C8.6.1. | Badanie detektorów promieniowania | 265 |
| C8.6.1.1. | Wyznaczanie charakterystyki detektora promieniowania przy ustalonej wartości napięcia polaryzacyjnego | 265 |
| C8.6.1.2. | Wyznaczanie wpływu napięcia polaryzującego na charakterystykę detektora promieniowania | 266 |
| C8.6.1.3. | Wyznaczanie wpływu odległości detektora od źródła promieniowania na jego charakterystykę | 267 |
| C8.6.2. | Badanie właściwości metrologicznych pirometrów | 267 |
| C8.6.2.1. | Wyznaczanie charakterystyki przetwarzania badanego pirometru .. | 267 |
| C8.6.2.2. | Wyznaczanie wpływu odległości pirometru od źródła promieniowania na dokładność wykonywanych pomiarów | 268 |
| C8.6.2.3. | Wyznaczanie wpływu odległości zewnętrznych źródeł zakłócających na dokładność pomiaru | 269 |
| C8.6.2.4. | Wyznaczanie wpływu odległości pirometru od zewnętrznych źródeł zakłócających na dokładność pomiaru | 271 |
| C8.6.3. | Wyznaczanie parametrów materiałów | 272 |
| C8.6.3.1. | Wyznaczanie współczynnika emisyjności badanych materiałów | 272 |
| C8.6.3.2. | Wyznaczanie wpływu stanu powierzchni materiału na jego współczynnik emisyjności | 273 |
| C8.6.3.3. | Wyznaczanie wpływu temperatury powierzchni materiału na jego współczynnik emisyjności | 275 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| C8.6.4 | Badanie wpływu zakłóceń na dokładność pomiaru pirometrami | 276 |
| C8.6.4.1. | Wyznaczenie wpływu pary wodnej na dokładność pomiaru temperatury | 276 |
| C8.6.4.2. | Wyznaczenie wpływu odległości pirometru od źródła pary wodnej na dokładność pomiaru temperatury | 277 |
| C8.6.5. | Badanie parametrów filtrów optycznych | 277 |
| C8.6.5.1. | Wyznaczenie współczynnika przepuszczania promieniowania badanych filtrów optycznych | 277 |
| C8.6.5.2. | Wyznaczenie wpływu odległości pirometru od badanego filtra optycznego na jego współczynnik przepuszczania promieniowania | 280 |
| C8.7. | Opracowanie wyników pomiarowych | 280 |
| C8.7.1. | Polecenia do wykonania | 281 |
| C9. | Czujniki piezoelektryczne i pojemnościowe | 282 |
| C9.1. | Cel ćwiczenia | 282 |
| C9.2. | Wykaz aparatury | 282 |
| C9.3. | Podstawy teoretyczne | 282 |
| C9.3.1. | Parametry charakteryzujące przetworniki ultradźwiękowe | 285 |
| C9.3.1.1. | Współczynnik sprzężenia elektromechanicznego | 286 |
| C9.3.1.2. | Dobroć gałęzi mechanicznej | 286 |
| C9.3.1.3. | Dobroć gałęzi elektrycznej | 286 |
| C9.3.1.4. | Częstotliwość rezonansu mechanicznego | 287 |
| C9.3.1.5. | Częstotliwość rezonansu elektromechanicznego | 287 |
| C9.3.1.6. | Sprawność elektroakustyczna | 287 |
| C9.4. | Pomiar modułu impedancji/ admitancji piezoelektrycznego przetwornika ultradźwiękowego | 289 |
| C9.4.1. | Stałoprądowy układ pomiarowy | 289 |
| C9.4.2. | Stałonapięciowy układ pomiarowy | 290 |
| C9.5. | Stanowisko laboratoryjne do badania przetworników ultradźwiękowych | 291 |
| C9.6. | Zadania pomiarowe | 294 |
| C9.6.1. | Wyznaczanie modułu impedancji przetwornika ultradźwiękowego | 294 |
| C9.6.1.1. | Pomiar modułu impedancji przetwornika ultradźwiękowego metodą stałoprądową | 294 |
| C9.6.1.2. | Pomiar modułu impedancji przetwornika ultradźwiękowego metodą stałonapięciową | 296 |
| C9.6.2. | Pomiar parametrów gałęzi elektrycznej przetwornika ultradźwiękowego .. | 298 |
| C9.6.3. | Pomiar prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w powietrzu/wodzie | 299 |
| C9.6.4. | Badanie odbicia fali ultradźwiękowej od ciał stałych | 300 |
| C9.6.5. | Badanie właściwości dalmierzy ultradźwiękowych | 302 |
| C9.6.6. | Badanie właściwości grubościomierzy ultradźwiękowych | 303 |
| C9.6.7. | Badanie wpływu stanu powierzchni wzorca grubości na dokładność pomiaru grubościomierzem ultradźwiękowym | 306 |
| C9.7. | Opracowanie wyników pomiarów | 306 |
| C9.7.1. | Polecenia do wykonania | 307 |
| C10. | Potencjometryczne pomiary pH | 308 |
| C10.1. | Cel ćwiczenia | 308 |
| C10.2. | Wykaz aparatury | 308 |
| C10.3. | Podstawy teoretyczne | 308 |
| C10.3.1. | Metody pomiaru pH | 310 |

| | |
|--|------------|
| C10.3.1.1. Pomiar pH metodą kolorymetryczną | 310 |
| C10.3.1.2. Pomiar pH metodą potencjometryczną | 312 |
| C10.3.2. Budowa elektrod pH | 314 |
| C10.3.2.1. Czułość szklanych elektrod pH-metrycznych | 314 |
| C10.3.2.2. Wpływ temperatury na wartości pH roztworów buforowych ... | 315 |
| C10.4. Stanowisko laboratoryjne do pomiarów pH-metrycznych | 316 |
| C10.5. Zadania pomiarowe | 318 |
| C10.5.1. Wyznaczanie dokładności pomiaru napięcia pH-metrem | 318 |
| C10.5.2. Wyznaczanie dokładności kalibracji pH-metru symulatorem elektro- nicznym | 319 |
| C10.5.3. Wyznaczanie dokładności pomiaru temperatury pH-metrem | 320 |
| C10.5.4. Wyznaczanie czułości szklanych elektrod pH-metrycznych | 321 |
| C10.5.5. Wyznaczanie stałej czasowej szklanych elektrod pH-metrycznych | 323 |
| C10.5.6. Wyznaczanie wpływu temperatury na dokładność pomiaru pH | 323 |
| C10.6. Opracowanie wyników pomiarów | 326 |
| C10.6.1. Polecenia do wykonania | 326 |
| C11. Pomiar stężenia jonów metali w wodzie | 327 |
| C11.1. Cel ćwiczenia | 327 |
| C11.2. Wykaz aparatury | 327 |
| C11.3. Podstawy teoretyczne | 328 |
| C11.3.1. Woltamperometria liniowa stałoprądowa | 329 |
| C11.3.2. Prąd pojemnościowy elektrody przy braku reakcji elektrochemicznej | 336 |
| C11.3.3. Prąd pojemnościowy elektrody w obecności reakcji elektrochemicznej.. | 337 |
| C11.3.4. Graficzne wyznaczanie wysokości fali i potencjału półfali | 339 |
| C11.3.5. Metody oznaczeń ilościowych | 340 |
| C11.3.5.1. Metoda krzywej wzorcowej | 340 |
| C11.3.5.2. Metoda dodawania wzorca | 341 |
| C11.3.5.3. Metoda dodania wzorca z zastosowaniem ekstrapolacji | 341 |
| C11.3.5.4. Metoda porównania z wzorcem | 342 |
| C11.3.5.5. Metoda wzorca wewnętrznego | 342 |
| C11.4. Stanowisko laboratoryjne do pomiarów woltamperometrycznych | 343 |
| C11.5. Zadania pomiarowe | 348 |
| C11.5.1. Wyznaczanie pojemności warstwy podwójnej elektrody woltampero- metrycznej | 348 |
| C11.5.1.1. Wyznaczanie wpływu elektrolitu podstawowego na pojem- ność warstwy podwójnej elektrody woltamperometrycznej | 348 |
| C11.5.1.2. Wyznaczanie wpływu częstotliwości napięcia polaryzacyj- nego na pojemność warstwy podwójnej | 349 |
| C11.5.1.3. Wyznaczanie wpływu wymiarów geometrycznych elektrody woltamperometrycznej na pojemność warstwy podwójnej | 350 |
| C11.5.2. Pomiar prądu elektrolitu podstawowego | 352 |
| C11.5.2.1. Wpływ stężenia elektrolitu podstawowego na prąd migra- cyjny | 352 |
| C11.5.2.2. Wpływ gradientu potencjału pola elektrycznego na prąd migracyjny elektrolitu podstawowego | 353 |
| C11.5.2.3. Wpływ temperatury elektrolitu podstawowego na wartość prądu migracyjnego | 355 |
| C11.5.3. Pomiar prądu redukcji jonów depolaryzatora | 356 |
| C11.5.3.1. Wpływ stężenia elektrolitu podstawowego na prąd redukcji jonów depolaryzatora | 356 |

| | |
|--|------------|
| C11.5.3.2. Wpływ gradientu potencjału pola elektrycznego na prąd redukcji jonów depolaryzatora | 357 |
| C11.5.3.3. Wpływ temperatury na prąd redukcji jonów depolaryzatora | 358 |
| C11.5.3.4. Pomiar nieznanego stężenia jonów depolaryzatora | 360 |
| C11.6. Opracowanie wyników pomiarów | 361 |
| C11.6.1. Polecenia do wykonania | 361 |
| C12. Pomiar stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie | 363 |
| C12.1. Cel ćwiczenia | 363 |
| C12.2. Wykaz aparatury | 363 |
| C12.3. Podstawy teoretyczne | 364 |
| C12.4. Stanowisko laboratoryjne do pomiarów stężenia tlenu | 368 |
| C12.5. Zadania pomiarowe | 370 |
| C12.5.1. Wyznaczanie impedancji elektrycznej czujnika Clarka | 370 |
| C12.5.1.1. Wyznaczanie wpływu stężenia elektrolitu podstawowego na pojemność warstwy podwójnej czujnika tlenu | 370 |
| C12.5.1.2. Wyznaczanie wpływu częstotliwości napięcia polaryzacyjnego czujnika tlenu na pojemność warstwy podwójnej | 371 |
| C12.5.1.3. Wyznaczanie wpływu wymiarów geometrycznych katody czujnika tlenu na pojemność warstwy podwójnej | 372 |
| C12.5.2. Pomiar prądu elektrolitu podstawowego | 374 |
| C12.5.2.1. Wpływ stężenia elektrolitu podstawowego na prąd zerowy czujnika tlenu | 374 |
| C12.5.2.2. Wpływ rozmiarów geometrycznych komory elektrolitu czujnika tlenu na wartość prądu elektrolitu podstawowego | 376 |
| C12.5.3. Wyznaczenie czułości czujnika tlenu | 377 |
| C12.5.3.1. Wpływ stężenia elektrolitu podstawowego na czułość czujnika tlenu | 377 |
| C12.5.3.2. Wpływ napięcia polaryzującego czujnik tlenu na jego czułość | 379 |
| C12.5.3.3. Wpływ grubości membrany czujnika tlenu na jego czułość | 380 |
| C12.5.4. Wyznaczenie stałej czasowej czujnika tlenu | 381 |
| C12.5.4.1. Wpływ stężenia elektrolitu podstawowego na stałą czasową czujnika tlenu | 381 |
| C12.5.4.2. Wpływ napięcia polaryzującego czujnik tlenu na jego stałą czasową | 382 |
| C12.5.4.3. Wpływ grubości membrany czujnika tlenu na jego stałą czasową | 383 |
| C12.6. Opracowanie wyników pomiarów | 384 |
| C12.6.1. Polecenia do wykonania | 384 |
| C13. Pomiar przewodności cieczy | 386 |
| C13.1. Cel ćwiczenia | 386 |
| C13.2. Wykaz aparatury | 386 |
| C13.3. Podstawy teoretyczne | 387 |
| C13.4. Stanowisko laboratoryjne do pomiarów przewodności cieczy | 396 |
| C13.5. Zadania pomiarowe | 400 |
| C13.5.1. Wyznaczanie wpływu sposobu podłączenia modelu czujnika konduktometrycznego na dokładność pomiaru przewodności | 400 |
| C13.5.2. Wyznaczanie wpływu konstrukcji czujnika konduktometrycznego na dokładność pomiaru przewodności | 402 |
| C13.5.3. Wyznaczanie wpływu amplitudy napięcia polaryzacyjnego na dokładność pomiaru przewodności | 403 |

| | |
|--|------------|
| C13.5.4. Wyznaczanie wpływu częstotliwości napięcia polaryzacyjnego na dokładność pomiaru przewodności | 404 |
| C13.5.5. Wyznaczenie dokładności pomiaru przewodności konduktometrem | 405 |
| C13.5.6. Wyznaczenie dokładności pomiaru temperatury konduktometrem | 406 |
| C13.5.7. Wyznaczanie wpływu położenia czujnika konduktometrycznego na dokładność pomiaru przewodności | 408 |
| C13.5.8. Wyznaczanie wpływu wymiarów geometrycznych naczynia pomiarowego na dokładność pomiaru przewodności | 410 |
| C13.5.9. Wyznaczanie wpływu typu elektrolitu i jego stężenia na przewodność | 412 |
| C13.5.10. Wyznaczanie wpływu stopnia wypełnienia naczynia pomiarowego na dokładność pomiaru przewodności | 414 |
| C13.5.11. Wyznaczanie wpływu czasu na dokładność pomiaru przewodności | 416 |
| C13.5.12. Wyznaczanie wpływu osłony czujnika konduktometrycznego na dokładność pomiaru przewodności | 417 |
| C13.5.13. Wyznaczanie wpływu odległości między elektrodami otwartego czujnika konduktometrycznego na dokładność pomiaru przewodności | 421 |
| C13.5.14. Wyznaczanie wpływu odległości między elektrodami zamkniętego czujnika konduktometrycznego na dokładność pomiaru przewodności | 422 |
| C13.5.15. Wyznaczanie wpływu kształtu elektrod zamkniętego czujnika konduktometrycznego na dokładność pomiaru przewodności | 424 |
| C13.5.16. Wyznaczanie wpływu pola powierzchni elektrod czujnika na dokładność pomiaru przewodności | 425 |
| C13.6. Opracowanie wyników pomiarów | 427 |
| C13.6.1. Polecenia do wykonania | 427 |
| LITERATURA | 430 |