

**Katedra Wytrzymałości Materiałów  
Instytut Mechaniki Budowli  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Politechnika Krakowska**

# **Laboratorium Wytrzymałości Materiałów**

**Praca zbiorowa  
pod redakcją S. Piechnika**

**Skrypt dla studentów Wydziału Inżynierii Lądowej  
Politechniki Krakowskiej**



**KRAKÓW 2002**



# SPIS TREŚCI

<b>1</b>	<b>TENSOMETRIA ELEKTROOPOROWA .....</b>	<b>9</b>
1.1	Podstawy teoretyczne.....	10
1.2	Podstawowy związek tensometrii elektrooporowej.....	12
1.3	Układ pomiarowy w tensometrii elektrooporowej.....	14
1.4	Tensometry elektrooporowe .....	16
1.5	Mostek Wheatstone'a.....	19
1.6	Przygotowanie konstrukcji i tensometrów elektrooporowych do pomiarów .....	20
1.7	Ćwiczenie: wyznaczenie modułu Younga i liczby Poissona metodą tensometrii elektrooporowej.....	20
1.7.1	Opis stanowiska i metody pomiaru .....	21
1.7.2	Wykonanie ćwiczenia .....	22
1.7.3	Wykonanie sprawozdania .....	23
1.7.4	Wzór formularza pomiarów do wyznaczenia modułu Young'a i liczby Poissona.....	23
1.8	Ćwiczenie: wyznaczenie naprężeń w rozciąganej płaskiej tarczy z otworem kołowym metodą tensometrii elektrooporowej .....	25
1.8.1	Wstęp teoretyczny.....	25
1.8.2	Opis stanowiska i metoda pomiaru .....	27
1.8.3	Wykonanie ćwiczenia .....	29
1.8.4	Wykonanie sprawozdania .....	30
1.9	Pytania kontrolne do tensometrii elektrooporowej .....	31
<b>2</b>	<b>ZASTOSOWANIE METOD TENSOMETRYCZNYCH DO ANALIZY STANU ODKSZTAŁCENIA I NAPRĘŻENIA .....</b>	<b>33</b>
2.1	Zastosowanie metod tensometrycznych do analizy stanu odkształcenia i naprężenia .....	35
2.2	Pomiary przemieszczeń belek zginanych.....	35
2.3	Metody tensometryczne pomiarów odkształceń .....	36
2.3.1	Tensometr mechaniczny Huggenbergera.....	36
2.3.2	Tensometry elektryczne .....	37
2.4	Wykonanie ćwiczenia .....	37
2.5	Pytania kontrolne .....	39
<b>3</b>	<b>WERYFIKACJA DOŚWIADCZALNA HIPOTEZ WŁASOWA W TEORII PRĘTÓW CIENKOŚCIENNYCH.....</b>	<b>41</b>
3.1	Zetownik rozciągany siłą osiową.....	43

3.1.1	Uzasadnienie celu wykonania doświadczenia.....	43
3.1.2	Dlaczego pręt rozciągany o przekroju zetowym ? Dobór kształtu przekroju zetowego (wymiary pólki i średnicy). ....	44
3.1.3	Opis doświadczenia „stalowy pręt zetowy rozciągany w maszynie wytrzymałościowej”.....	45
3.1.4	Zestawienie wyników teoretycznych i doświadczalnych dla stalowego pręta zetowego rozciąganego w maszynie wytrzymałościowej. ....	47
3.1.5	Uwagi do rozwiązania numerycznego. ....	48
3.1.6	Wnioski: porównanie zgodności teorii prętów cienkościennych otwartych z wynikami doświadczeń.....	48
3.2	Pytania kontrolne .....	49
<b>4</b>	<b>ZASTOSOWANIA UNIWERSALNEJ MASZINY WYTRZYMAŁOŚCIOWEJ UTS 100K .....</b>	<b>51</b>
4.1	Podstawowy opis maszyny UTS 100K .....	53
4.1.1	Opis maszyny UTS 100K.....	53
4.1.2	Pomiar siły .....	54
4.1.3	Pomiar przemieszczeń.....	55
4.1.4	Dane techniczne uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej UTS 100K .....	56
4.1.5	Układ kontrolno-pomiarowy.....	56
4.2	Oprzyrządowanie .....	58
4.2.1	Szczęki i uchwyty do próby rozciągania.....	58
4.2.2	Płyty do próby ściskania .....	59
4.2.3	Stanowisko do próby zginania poprzecznego siłą skupioną ...	59
4.3	Oprogramowanie.....	60
4.3.1	UTS Program System 205/209.....	60
4.3.2	Procedury własne użytkownika.....	60
4.4	Statyczna próba rozciągania.....	60
4.4.1	Cel próby .....	61
4.4.2	Zalety próby .....	61
4.4.3	Wykres rozciągania dla stali miękkiej .....	62
4.4.4	Typowe wykresy rozciągania (w zależności od cech plastycznych materiału) .....	63
4.4.5	Obciążenie i odciążenie.....	64
4.4.6	Schematyzacje wykresu rozciągania.....	65
4.4.7	Rodzaje próbek .....	65
4.4.8	Wyznaczanie naprężeń granicznych przy umownym wydłużeniu trwałym metodą obciążania .....	67
4.4.9	Pomiar modułu sprężystości .....	68

4.4.10	Przebieg próby .....	69
4.5	Próba zginania poprzecznego.....	70
4.5.1	Cel próby zginania .....	70
4.5.2	Wyznaczanie modułu sprężystości poprzez pomiar ugięć .....	70
4.5.3	Przebieg próby .....	71
4.6	Statyczna próba ściskania .....	71
4.6.1	Opis ogólny próby ściskania .....	71
4.6.2	Cel próby .....	72
4.6.3	Próbki .....	73
4.6.4	Pomiar modułu sprężystości .....	73
4.6.5	Przebieg próby .....	74
4.7	Obsługa maszyny UTS100K.....	74
4.7.1	Konfiguracja maszyny .....	74
4.7.2	Uruchamianie .....	74
4.7.3	Podstawowe informacje nt. obsługi programu UTS 209/205 ..	75
4.7.4	Adaptacja .....	75
4.7.5	Wykonanie ćwiczenia .....	76
4.7.6	Wyłączenie maszyny.....	78
4.7.7	Modyfikacja parametrów ćwiczenia .....	78
4.7.8	Obróbka wyników po zakończonej próbie.....	82
4.7.9	Zapisanie lub odczyt parametrów ćwiczenia z dysku .....	82
4.8	Opracowanie wyników badań.....	83
4.8.1	Opracowanie wyników badań w arkuszu kalkulacyjnym .....	83
4.9	Podstawowe zasady postępowania.....	87
4.10	Pytania kontrolne .....	90
<b>5</b>	<b>STAN NAPRĘŻENIA W PRĘCIE SILNIE ZAKRZYWIONYM.....</b>	<b>93</b>
5.1	Pręt silnie zakrzywiony.....	95
5.1.1	Cel ćwiczenia .....	95
5.1.2	Podstawy teoretyczne.....	95
5.1.3	Opis próbki.....	98
5.1.4	Przeprowadzenie ćwiczenia .....	99
5.1.5	Opracowanie wyników.....	103
5.1.6	Analiza systemem elementów skończonych.....	106
5.1.7	Pytania kontrolne .....	109
<b>6</b>	<b>DEFEKTOSKOPIA ULTRADŹWIĘKOWA .....</b>	<b>111</b>
6.1	Wstęp .....	112
6.2	Podstawy fizyczne .....	112
6.3	Podstawowe pojęcia i definicje (zgodne z PN –XX / M 70050) .....	113

6.3.1	Ogólne nazwy i określenia .....	113
6.3.2	Nazwy i określenia dotyczące aparatury i urządzeń pomocniczych .....	116
6.3.3	Nazwy i określenia dotyczące badań .....	119
6.4	Sprzęt do badań ultradźwiękowych .....	120
6.5	Opis defektoskopu USD-10 .....	121
6.5.1	Opis działania.....	122
6.6	Opis przełączników USD-10 .....	123
6.6.1	Podstawowe parametry .....	124
6.6.2	Opis funkcji menu .....	125
6.6.3	Obsługa defektoskopu.....	129
6.7	Główce do badań ultradźwiękowych.....	130
6.7.1	Budowa głowic .....	133
6.8	Wzorce ultradźwiękowe.....	135
6.8.1	Wzorzec W1 (zgodny z PN-XX / M-70051) .....	135
6.8.2	Wzorzec W2 (zgodny z PN-XX / M-70054) .....	136
6.8.3	Wzorzec schodkowy .....	136
6.8.4	Wzorce porównawcze .....	137
6.8.5	Wzorce mikrosekundowe (zgodne z PN-XX / M-70056).....	137
6.9	Wady rzeczywiste: .....	137
6.10	Ćwiczenia laboratoryjne .....	145
6.10.1	Lokalizacja wad w próbkach głowicą normalną .....	145
6.10.2	Lokalizacja wad w próbkach głowicą kątową.....	147
6.10.3	Lokalizacja wad w próbkach głowicą fal powierzchniowych	148
6.10.4	Pomiary grubości metodą bezpośrednią.....	150
6.10.5	Pomiary grubości metodą ech wielokrotnych .....	151
6.10.6	Pomiary grubości głowicą podwójną .....	152
6.10.7	Pomiary prędkości fal podłużnych.....	153
6.10.8	Pomiary prędkości fal poprzecznych .....	155
6.10.9	Wyznaczanie stałych materiałowych .....	157
6.10.10	Ocena rozmiaru wady za pomocą nieunormowanego wykresu OWR.....	158
6.11	Uzupełnienie .....	162
6.11.1	Tabele materiałowe .....	162
6.12	Pytania kontrolne .....	163
6.13	Zalecana literatura.....	163
<b>7</b>	<b>ELASTOPTYCZNE METODY ANALIZY NAPRĘŻEŃ.....</b>	<b>165</b>
7.1	Wstęp .....	167
7.2	Opis zjawisk fizycznych .....	167

7.2.1	Rozkład wektora światła w polaryskopie liniowym .....	170
7.2.2	Polaryskop kołowy .....	173
7.3	Pełno-polowa analiza obrazu .....	174
7.3.1	Izokliny .....	174
7.3.2	Izochromy .....	175
7.3.3	Metoda kompensacji goniometrycznej (Tardy) .....	178
7.4	Polaryskop edukacyjny Vishay 080 .....	179
7.4.1	Elementy składowe stanowiska i zasada pracy polaryskopu .	179
7.4.2	Budowa polaryskopu.....	181
7.4.3	Pomiar kierunków naprężeń głównych.....	185
7.4.4	Pomiar rzędów izochrom .....	187
7.4.5	Pomiar ułamkowych rzędów izochrom metodą Tardy .....	187
7.5	Ława elastoptyczna.....	188
7.6	Obsługa siłomierza 082A.....	190
7.7	Przebieg ćwiczeń .....	191
7.7.1	Rozciąganie proste .....	191
7.7.2	Belka zginana.....	192
7.7.3	Belka zginana poprzecznie.....	193
7.7.4	Pręt zakrzywiony.....	194
7.7.5	Tarcza z otworem i karbem.....	195
7.7.6	Pierścienie z zamrożonym stanem naprężenia .....	196
7.8	Pytania kontrolne .....	197
7.8.1	Pytania ogólne.....	197
7.8.2	Pytania szczegółowe .....	197
<b>8</b>	<b>POMIARY TWARDOŚCI METALI .....</b>	<b>203</b>
8.1	Pomiary twardości metali .....	205
8.1.1	Wstęp .....	205
8.2	Metoda Brinella ( PN-91/H-04350 ) .....	206
8.2.1	Twardość według Brinella .....	206
8.2.2	Warunki pomiaru .....	207
8.2.3	Pomiar odcisku i zapis pomiaru .....	210
8.2.4	Wykonanie pomiaru twardości twardościomierzem Brinella	211
8.2.5	Zalety i wady pomiarów metodą Brinella.....	211
8.3	Metoda pomiaru młotkiem Poldi .....	212
8.4	Pytania kontrolne: .....	213

