

# Spis treści

Wstęp .....	9
<b>CZĘŚĆ PIERWSZA</b>	
<b>Reologia cieczy i materiałów plastycznych .....</b>	<b>13</b>
<b>1. Podstawowe pojęcia w reologii.....</b>	<b>15</b>
<b>2. Ciecze newtonowskie i nienewtonowskie .....</b>	<b>18</b>
2.1. Ciecze newtonowskie .....	18
2.2. Ciecze nienewtonowskie.....	19
2.2.1. Ciecze reostabilne .....	19
2.2.2. Ciecze reoniestabilne .....	23
2.2.2.1. Ciecze tiksotropowe .....	23
2.2.2.2. Ciecze reopeksyjne .....	33
2.2.3. Ciecze lepkosprężyste .....	34
2.2.3.1. Efekt Weissenberga .....	35
2.2.3.2. Efekt Barusa .....	36
2.3. Właściwości lepkosprężyste .....	36
<b>3. Reometria .....</b>	<b>38</b>
3.1. Zastosowanie reometrii kapilarnej do badania właściwości zawiesin ceramicznych, polimerów i ich kompozycji .....	40
3.2. Zastosowanie reometrów obrotowych do wyznaczania krzywych płynięcia i innych parametrów reologicznych.....	44
<b>4. Dynamiczna analiza mechaniczna (DMA) właściwości reologicznych układów ceramiczno-polimerowych termoplastycznych oraz żywic chemo- i termoutwardzalnych .....</b>	<b>46</b>
LITERATURA DO CZĘŚCI I .....	54

<b>5. Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych – część pierwsza .....</b>	<b>55</b>
5.1. Pomiar lepkości cieczy za pomocą lepkościomierza wypływowego (kubek Forda).....	55
5.1.1. Cel ćwiczenia .....	55
5.1.2. Zasada oznaczenia.....	55
5.1.3. Aparatura i odczynniki.....	56
5.1.4. Wykonanie ćwiczenia. Oznaczenie wskaźnika lepkości.....	57
5.1.5. Oznaczenie tiksotropii.....	57
5.1.6. Zagadnienia do kolokwium.....	57
5.2. Pomiar właściwości reologicznych cieczy na reometrze typu Rheotest 2 .....	57
5.2.1. Cel ćwiczenia .....	57
5.2.2. Opis urządzenia Rheotest 2.....	58
5.2.3. Wybór układu cylindrów pomiarowych.....	60
5.2.4. Zerowanie układu pomiarowego.....	61
5.2.5. Sposób przeprowadzania pomiaru .....	61
5.2.6. Obliczanie wielkości reologicznych .....	62
5.2.7. Interpretacja krzywych płynięcia .....	65
5.2.8. Opracowanie wyników.....	67
5.2.9. Zagadnienia do kolokwium.....	67
5.3. Wyznaczanie parametrów tiksotropowych na podstawie krzywych płynięcia .....	67
5.3.1. Cel ćwiczenia .....	67
5.3.2. Przebieg ćwiczenia.....	68
5.3.2.1. Metoda całkowania równań trendów.....	68
5.3.2.2. Metoda najmniejszych kwadratów (sumowania pól trapezów).....	69
5.3.3. Opracowanie wyników.....	69
5.3.4. Przykładowe pytania i zagadnienia.....	69
5.4. Wyznaczanie współczynników chronotiksotropii i mobilotiksotropii na reometrze Anton Paar .....	70
5.4.1. Cel ćwiczenia .....	70
5.4.2. Przebieg ćwiczenia. Reometr Anton Paar Physica MCR-301 .....	70
5.4.3. Odczynniki .....	72
5.4.4. Sporządzenie zawiesiny ceramicznej.....	72
5.4.5. Pomiar współczynnika mobilotiksotropii .....	72
5.4.6. Pomiar współczynnika chronotiksotropii.....	73
5.4.7. Opracowanie wyników.....	74
5.4.8. Przykładowe pytania i zagadnienia.....	75
5.5. Pomiar właściwości lepkosprężystych płynów w układzie płytka–płytko na reometrze Anton Paar.....	75
5.5.1. Cel ćwiczenia .....	75
5.5.2. Przebieg ćwiczenia. Reometr Anton Paar Physica MCR-301 .....	76
5.5.3. Odczynniki .....	76
5.5.4. Przygotowanie zawiesin do badań .....	76

5.5.5. Pomiar właściwości lepkosprężystych.....	77
5.5.6. Opracowanie wyników.....	78
5.5.7. Przykładowe pytania i zagadnienia.....	78
5.6. Wyznaczanie kinetyki żelowania układów wielofazowych	
na reometrze Anton Paar .....	78
5.6.1. Cel ćwiczenia .....	78
5.6.2. Przebieg ćwiczenia. Reometr Anton Paar Physica MCR-301 .....	79
5.6.3. Odczytniki .....	79
5.6.4. Przygotowanie mieszanin polimeryzacyjnych do badań .....	80
5.6.5. Pomiar kinetyki żelowania.....	80
5.6.5.1. Wyznaczanie kinetyki żelowania	
z wykorzystaniem pomiarów lepkości .....	80
5.6.5.2. Wyznaczanie kinetyki żelowania	
z wykorzystaniem pomiarów lepkosprężystości .....	81
5.6.6. Opracowanie wyników.....	82
5.6.7. Przykładowe pytania i zagadnienia.....	82
5.7. Wyznaczanie parametrów reologicznych płynów	
na podstawie testów pełzania na reometrze Anton Paar .....	83
5.7.1. Cel ćwiczenia .....	83
5.7.2. Przebieg ćwiczenia. Reometr Anton Paar Physica MCR-301 .....	83
5.7.3. Odczytniki .....	84
5.7.4. Test pełzania.....	84
5.7.5. Opracowanie wyników.....	85
5.7.6. Przykładowe pytania i zagadnienia.....	86
5.8. Wyznaczanie krzywej upłynniania zawiesin ceramicznych	
na wiskozymetrze Brookfield DV-E oraz reometrze Brookfield DV-III+ .....	86
5.8.1. Cel ćwiczenia .....	86
5.8.2. Przebieg ćwiczenia. Aparatura (wraz z instrukcją obsługi) .....	86
5.8.3. Wiskozymetr obrotowy Brookfield DV-E .....	86
5.8.3.1. Budowa urządzenia.....	88
5.8.3.2. Pomiar.....	88
5.8.4. Sporządzanie zawiesiny .....	88
5.8.5. Odczytniki .....	88
5.8.6. Wykonanie ćwiczenia. Krzywa upłynniania .....	88
5.8.7. Wyznaczanie krzywej zmian lepkości	
w funkcji prędkości obrotowej.....	89
5.8.8. Wyznaczanie wskaźnika tiksotropii	
za pomocą lepkościomierza obrotowego .....	90
5.8.9. Opracowanie wyników.....	90
5.8.10. Przykładowe pytania i zagadnienia.....	91
5.9. Reometr obrotowy typu Brookfield DV-III.....	91
5.9.1. Budowa urządzenia .....	91
5.9.2. Zerowanie.....	92
5.9.3. Pomiar .....	93
5.9.4. Wczytywanie „skryptów pomiarowych” .....	94

5.9.5. Wykonanie ćwiczenia.....	95
5.9.6. Opracowanie wyników.....	95
5.9.7. Przykładowe pytania i zagadnienia.....	95
5.10. Zasady pomiaru i wyznaczanie krzywej kalibracyjnej wiskozymetru torsyjnego Gallenkampa .....	96
5.10.1. Cel ćwiczenia.....	96
5.10.2. Aparatura (wraz z instrukcją obsługi).....	96
5.10.3. Budowa urządzenia .....	97
5.10.4. Zerowanie.....	98
5.10.5. Pomiar .....	98
5.10.6. Odczytniki .....	99
5.10.7. Wykonanie ćwiczenia.....	99
5.10.8. Opracowanie wyników.....	99
5.10.9. Przykładowe pytania i zagadnienia .....	99

## CZĘŚĆ DRUGA

<b>Reologia proszków .....</b>	<b>101</b>
<b>6. Proszki.....</b>	<b>103</b>
6.1. Wprowadzenie do reologii proszków .....	103
6.2. Rodzaje przepływów mas proszkowych.....	105
6.3. Naprężenia w materiałach sypkich .....	107
6.4. Siły adhezyjne i kohezyjne .....	109
6.5. Sypkość–płynięcie. Jednokierunkowe zagęszczanie .....	112
6.6. Czas konsolidacji (sklejanie). Samokohezja.....	114
6.7. Granica płynięcia i koło naprężeń Mohra.....	115
6.7.1. Numeryczna charakteryzacja płynności.....	117
6.8. Funkcja czasowa .....	119
6.9. Pomiar sypkości (płynięcia).....	119
6.10. Test ścinania (krzywa zniszczeniowa) .....	119
6.10.1. Tester ścinania Jenikego.....	121
6.10.2. Pierścieniowy tester ścinania Schulzego.....	122
6.10.3. Interpretacja krzywej zniszczeniowej (płynięcia).....	124
6.11. Czas konsolidacji .....	126
6.12. Tarcie ścienne.....	127
6.13. Inne metody określenia właściwości reologicznych proszków .....	131
6.14. Podsumowanie .....	132
<b>LITERATURA DO CZĘŚCI DRUGIEJ .....</b>	<b>132</b>
<b>7. Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych – część druga .....</b>	<b>134</b>
7.1. Wyznaczanie kąta tarcia przyściennego proszków ceramicznych.....	134
7.1.1. Cel ćwiczenia .....	134
7.1.2. Aparatura (wraz z instrukcją obsługi).....	134

7.1.3. Waga laboratoryjna .....	138
7.1.4. Odczynniki .....	138
7.1.5. Wykonanie ćwiczenia.....	138
7.1.6. Opracowanie wyników.....	138
7.1.7. Przykładowe pytania i zagadnienia.....	138
7.2. Wyznaczanie konsolidacyjnej krzywej pływnięcia proszków ceramicznych.....	138
7.2.1. Przygotowanie próbki .....	138
7.2.2. Pomiar .....	139
7.2.3. Waga laboratoryjna .....	140
7.2.4. Odczynniki .....	140
7.2.5. Wykonanie ćwiczenia.....	140
7.2.6. Opracowanie wyników.....	140
7.2.7. Przykładowe pytania i zagadnienia.....	140
7.3. Wyznaczanie krzywej pływnięcia proszków ceramicznych .....	140
7.3.1. Przygotowanie próbki .....	140
7.3.2. Pomiar .....	141
7.3.3. Waga laboratoryjna .....	142
7.3.4. Odczynniki .....	142
7.3.5. Wykonanie ćwiczenia.....	142
7.3.6. Opracowanie wyników.....	142
7.3.7. Przykładowe pytania i zagadnienia.....	142
<b>Podziękowania .....</b>	<b>142</b>