

Janusz Datta, Marcin Włoch

# **INŻYNIERIA ELASTOMERÓW**

Gdańsk 2017

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO  
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

*Janusz T. Cieśliński*

RECENZENT

*Krzysztof Pielichowski*

REDAKCJA JEZYKOWA

*Agnieszka Frankiewicz*

PROJEKT OKŁADKI I SKŁAD

*Wioleta Lipska-Kamińska*

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](mailto: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 2017

ISBN 978-83-7348-693-5

# Spis treści

Od autorów .....	5
<b>Część I – TEORIA</b> .....	7
1. Materiały elastomerowe .....	9
2. Elastomery poliuretanowe .....	11
3. Elastomery kauczukowe .....	21
3.1. Kauczuki .....	21
3.2. Substancje wulkanizujące .....	33
3.3. Przyspieszacze wulkanizacji .....	35
3.4. Aktywatory wulkanizacji siarkowej .....	39
3.5. Napełniacze .....	40
3.6. Zmiękczacze .....	47
3.7. Przygotowanie mieszanki kauczukowej .....	49
3.8. Wulkanizacja mieszanek kauczukowych .....	55
4. Wybrane właściwości użytkowe i technologiczne materiałów elastomerowych .....	62
4.1. Właściwości przy statycznym rozciąganiu .....	63
4.2. Właściwości podczas ściskania .....	67
4.3. Właściwości w próbie rozdzierności .....	69
4.4. Właściwości w próbie wielokrotnego zginania .....	69
4.5. Twardość i elastyczność przy odbiciu .....	70
4.6. Odporność na zużycie ścierne (ścieralność) .....	71
4.7. Analiza termiczna elastomerów .....	72
5. Użytkowanie elastomerów i analiza ich zużycia .....	77
5.1. Procesy degradacji elastomerów .....	77
5.2. Procesy starzenia gumy i metody ich badania .....	78
5.3. Degradacja oksydacyjna polimerów i badanie czasu indukcji utleniania metodą DSC .....	83
6. Terminologia angielska w inżynierii elastomerów .....	91
<b>Część II – DOŚWIADCZENIA</b> .....	95
Laboratorium nr 1. Analiza wytrzymałości materiałów elastomerowych – zadania .....	97
Laboratorium nr 2. Formułacje elastomerów poliuretanowych – obliczenia .....	99
Laboratorium nr 3. Zasady sporządzania mieszanek kauczukowych oraz otrzymywanie mieszanek z użyciem walcarki .....	101

Laboratorium nr 4. Wyznaczanie optimum wulkanizacji z użyciem reometru Monsanto .....	102
Laboratorium nr 5. Wulkanizacja mieszanek kauczukowych i badanie właściwości makroskopowych elastomerów .....	103
Laboratorium nr 6. Wyznaczenie właściwości elastomerów w próbie cyklicznego ściskania i w próbie rozdzierności .....	104
Laboratorium nr 7. Oznaczanie cech wytrzymałościowych elastomerów w próbach jednoosiowego rozciągania .....	105
Laboratorium nr 8. Wpływ szybkości rozciągania na zależność naprężenie–wydłużenie .....	106
Laboratorium nr 9. Wpływ temperatury na krzywe rozciągania usieciowanych kauczuków .....	107
Laboratorium nr 10. Oznaczenie wytrzymałości zmęczeniowej materiałów elastomerowych przy wielokrotnym zginaniu .....	108
Laboratorium nr 11. Badanie elastomerów metodą TGA i DMA .....	109
Laboratorium nr 12. Badanie odporności kauczuków na działanie tlenu metodą DSC ..	110
Laboratorium nr 13. Badanie starzenia elastomerów w warunkach naturalnych i wymuszonych .....	111
<b>Część III – ZALECANA LITERATURA .....</b>	<b>113</b>

# Od autorów

Elastomery należą do materiałów konstrukcyjnych charakteryzujących się bardzo szerokim spektrum zastosowań praktycznych. Do najważniejszych produktów komercyjnych należą opony samochodowe, taśmy przenośnikowe, obuwie czy odzież sportowa. Niezwykle ważne jest zrozumienie aspektów związanych z korelacją struktury chemicznej z właściwościami otrzymywanych materiałów elastomerowych. Odpowiedni dobór komponentów i warunków wytwarzania ma największy wpływ na cechy produktów końcowych, dlatego też niniejszy skrypt zawiera szczegółowe omówienie tych zagadnień. Opisuując zarówno poszczególne surowce, jak i warunki procesów przetwórczych, skupiono się na ich wpływie na wybrane właściwości wyrobów finalnych.

Niniejszy skrypt został przygotowany z myślą o studentach kilku kierunków studiów, takich jak: inżynieria materiałowa, technologia chemiczna, chemia budowlana i chemia. Stanowi on uzupełnienie wykładów z zakresu chemii i technologii polimerów, inżynierii elastomerów oraz przetwórstwa tworzyw sztucznych i gumy.

Pierwsza część skryptu zawiera omówienie podstawowych grup elastomerów, komponentów do ich wytwarzania, metod wytwarzania, a także omówienie badań istotnych właściwości z aplikacyjnego punktu widzenia. Ponadto scharakteryzowano wybraną aparaturę badawczą, stosowaną w badaniach elastomerów. Druga część skryptu zawiera propozycję zajęć laboratoryjnych, jakie można realizować w procesie dydaktycznym przedmiotów związanych z chemią i technologią elastomerów.

Autorzy chcieliby serdecznie podziękować Pani mgr inż. Paulinie Parchecie za pomoc edycyjną w początkowym etapie przygotowywania skryptu oraz Paniom dr inż. Ewie Głowińskiej, mgr inż. Paulinie Kosiorek i mgr inż. Patrycji Kopczyńskiej za udostępnienie wyników badań własnych związanych z elastomerami, które zostały wykorzystane w niektórych przykładach niniejszego skryptu.