

**Piotr Kowalczyk, Rafał Lech, Włodzimierz Zieniutycz**

**Podstawy**

**ELEKTRO**

**MAGNETYZMU**

**w zadaniach**

---

**Gdańsk 2015**

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO  
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

*Janusz T. Cieśliński*

RECENZENT

*Tadeusz Morawski*

PROJEKT OKŁADKI

*Katarzyna Olszonowicz*

Wydanie I – 2007

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 jakiegokolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej  
Gdańsk 2015

ISBN 978-83-7348-628-7

# Spis treści

Wstęp	5
Wykaz ważniejszych oznaczeń	7
<b>1 Pole elektryczne</b>	<b>9</b>
1.1 Ładunki elektryczne i ich oddziaływania	9
1.1.1 Rozkłady ładunków	9
1.1.2 Prawo Coulomba	11
1.1.3 Natężenie pola elektrycznego	12
1.1.4 Linie sił pola	13
1.1.5 Zasada superpozycji	13
1.1.6 Indukcja pola elektrycznego	19
1.1.7 Prawo Gaussa	19
1.2 Potencjał elektrostatyczny	37
1.2.1 Praca i energia w polu elektrycznym	37
1.2.2 Pojęcie potencjału elektrostatycznego	38
1.2.3 Powierzchnia ekwipotencjalna	41
1.2.4 Pole potencjalne	41
1.2.5 Potencjał wytwarzany przez ciągłe rozkłady ładunku	43
1.2.6 Potencjał a natężenie pola elektrostatycznego	44
1.2.7 Równanie Laplace'a i Poissona	49
1.3 Pojemność elektryczna	52
1.3.1 Pojęcie pojemności własnej i wzajemnej	52
1.3.2 Metody wyznaczania pojemności	52
1.4 Prąd a natężenie pola elektrycznego	59
1.4.1 Pojęcie prądu elektrycznego	59
1.4.2 Gęstość powierzchniowa prądu elektrycznego	60
1.4.3 Lokalne prawo Ohma	61
<b>2 Pole magnetyczne</b>	<b>69</b>
2.1 Natężenie i indukcja pola magnetycznego	69
2.2 Siła Lorentza	70
2.3 Prawo Biota-Savarta	71
2.4 Magnes trwały jako źródło pola magnetycznego	79
2.5 Prawo Ampère'a	79
2.6 Prawo Gaussa dla pola magnetycznego	87
2.7 Pojęcie potencjału wektorowego	89

---

<b>3</b>	<b>Indukcja elektromagnetyczna</b>	<b>94</b>
3.1	Prawo Faradaya . . . . .	94
3.2	Indukcyjność własna i wzajemna . . . . .	103
<b>4</b>	<b>Pole elektromagnetyczne</b>	<b>109</b>
4.1	Hipoteza Maxwella . . . . .	109
4.2	Równania Maxwella . . . . .	113
4.2.1	Równania konstytutywne (materiałowe) . . . . .	114
4.3	Energia pola elektromagnetycznego . . . . .	116
4.3.1	Gęstość objętościowa energii . . . . .	116
4.3.2	Twierdzenie Poyntinga . . . . .	119
<b>A</b>	<b>Dodatek matematyczny</b>	<b>124</b>
A.1	Krzywoliniowe układy współrzędnych . . . . .	124
A.1.1	Układ cylindryczny . . . . .	124
A.1.2	Układ sferyczny . . . . .	124
A.2	Operatory różniczkowe . . . . .	125
A.2.1	Kartezjański układ współrzędnych . . . . .	125
A.2.2	Cylindryczny układ współrzędnych . . . . .	125
A.2.3	Sferyczny układ współrzędnych . . . . .	125
A.3	Przydatne tożsamości . . . . .	126
A.4	Twierdzenia całkowite . . . . .	126
	<b>Literatura</b>	<b>127</b>