

# Spis treści

<b>Wstęp</b> .....	9
<b>1. Elektrownie hybrydowe – hybrydowe systemy wytwarzania energii elektrycznej</b> .....	11
1.1. Definicja elektrowni hybrydowej .....	11
1.2. Rodzaje elektrowni hybrydowych .....	11
1.3. Systemy <i>on-grid</i> i <i>off-grid</i> .....	14
1.4. Elementy składowe hybrydowej elektrowni wiatrowo-słonecznej .....	15
<b>2. Technologie wykorzystujące promieniowanie słoneczne – moduły fotowoltaiczne</b> .....	18
2.1. Badania nad ogniwami fotowoltaicznymi .....	18
2.2. Budowa ogniw fotowoltaicznych oraz proces produkcyjny .....	21
2.3. Zasada działania ogniw fotowoltaicznych .....	24
2.4. Parametry ogniw fotowoltaicznych .....	26
2.4.1. Schemat zastępczy ogniw fotowoltaicznych .....	27
2.5. Charakterystyka prądowo-napięciowa .....	27
2.6. Maksymalny punkt pracy (MPP) .....	28
2.7. Sprawność konwersji $\eta$ .....	29
2.8. Rodzaje i typy ogniw fotowoltaicznych .....	29
2.8.1. Ogniwa I generacji .....	30
2.8.2. Ogniwa II generacji .....	30
2.8.3. Ogniwa III generacji .....	30
2.8.4. Ogniwa selenowe .....	31
2.9. Ogniwa krzemowe .....	31
2.9.1. Ogniwa monokrystaliczne .....	32
2.9.2. Ogniwa polikrystaliczne .....	32
2.9.3. Ogniwa amorficzne .....	33
2.10. Ogniwa heterozłączone .....	34
2.11. Nowe technologie ogniw fotowoltaicznych .....	35
2.11.1. Ogniwa oparte na GaAs .....	35
2.11.2. Ogniwa oparte na CdTe .....	36
2.11.3. Ogniwa oparte na CIS .....	37
2.12. Porównanie technologii ogniw fotowoltaicznych .....	37

<b>3.</b>	<b>Technologie wykorzystujące energię wiatru – elektrownie wiatrowe</b>	40
3.1.	Historia rozwoju energetyki wiatrowej	40
3.2.	Charakterystyka techniczna komercyjnych elektrowni wiatrowych	41
3.3.	Budowa i zasada działania elektrowni wiatrowej	43
3.3.1.	Turbiny o pionowej osi obrotu VAWT	43
3.3.2.	Turbiny o poziomej osi obrotu HAWT	45
<b>4.</b>	<b>Technologie magazynowania energii</b>	51
4.1.	Metody magazynowania energii	51
4.2.	Akumulatory – odwracalne ogniwa galwaniczne	51
4.2.1.	Akumulatory ołowiowe	52
4.2.2.	Akumulatory niklowo-kadmowe	55
4.2.3.	Akumulatory niklowo-wodorowe	56
4.2.4.	Akumulatory sodowo-siarkowe	57
4.2.5.	Akumulatory litowe	58
4.3.	Ogniwa paliwowe	59
4.4.	Elektrownie wodne szczytowo-pompowe	61
4.5.	Magazynowanie sprężonego powietrza	64
4.6.	Superkondensatory – kondensatory elektrochemiczne	65
4.7.	Akumulatory kinetyczne	66
4.8.	Nadprzewodnikowe zasobniki energii (SMES)	66
4.9.	Porównanie metod magazynowania energii	67
<b>5.</b>	<b>Elektrownie wiatrowe w systemie bilansowania energii elektrycznej</b>	70
5.1.	Rynek energii elektrycznej w Polsce	70
5.2.	Rynek Bilansujący	74
5.3.	Bilansowanie handlowe na Rynku Bilansującym	80
5.3.1.	Umowy sprzedaży energii	81
5.3.2.	Usługi systemowe	81
5.3.3.	Rezerwa interwencyjna	82
5.4.	Warunki uczestnictwa w Rynku Bilansującym	83
5.5.	Zgłaszanie ofert bilansujących	84
5.6.	Procedury bilansowania Systemu Zarządzania Ograniczeniami Systemowymi	85
5.6.1.	Rozliczanie kosztów Systemu Zarządzania Ograniczeniami Systemowymi	85
5.7.	Stany zagrożenia bezpieczeństwa zaopatrzenia w energię elektryczną – procedury awaryjne	86
5.8.	Algorytm pracy Operatora Sieci Dystrybucyjnej na linii wytwórca energii elektrycznej – odbiorca końcowy	86
5.9.	Przykłady grafikowania i ustalania cen ofertowych, cen sprzedaży energii, cen zakupu energii	87
5.10.	Elektrownie wiatrowe na Rynku Bilansującym	98
<b>6.</b>	<b>Modelowanie matematyczne systemów hybrydowych</b>	101
6.1.	Modelowanie matematyczne elementów elektrowni wiatrowych	101
6.1.1.	Modelowanie strumienia wiatru	101

6.1.2.	Regulacja mocy elektrowni wiatrowej .....	104
6.1.3.	Dynamika koła wiatrowego turbiny wiatrowej .....	106
6.1.4.	Mechaniczne kołysania własne elektrowni wiatrowej .....	107
6.1.5.	Model układu przeniesienia napędu .....	108
6.1.6.	Uproszczony model generatora oraz system sterowania .....	110
6.2.	Modelowanie matematyczne elementów elektrowni fotowoltaicznej .....	113
6.2.1.	Wielkości opisujące promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni Ziemi .....	113
6.2.2.	Składowa promieniowania słonecznego .....	114
6.2.3.	Wyznaczenie energii promieniowania słonecznego na podstawie wzorów empirycznych .....	116
6.2.4.	Kąt deklinacji $\delta$ .....	117
6.2.5.	Czas słoneczny $t_s$ i kąty godzinne $\omega$ .....	117
6.2.6.	Położenie Słońca nad horyzontem .....	119
6.2.7.	Kąt padania $\alpha$ składowej bezpośredniej promieniowania słonecznego .....	121
6.2.8.	Natężenie promieniowania słonecznego $I^0$ na granicy atmosfery ziemskiej .....	122
6.2.9.	Natężenie promieniowania słonecznego $I^P$ na płaszczyźnie poziomej na powierzchni Ziemi .....	122
6.2.10.	Natężenie promieniowania słonecznego $I^B$ na płaszczyźnie dowolnie pochylonej na powierzchni Ziemi .....	124
6.2.11.	Parametry techniczne modułów fotowoltaicznych (PV) oraz moc chwilowa paneli fotowoltaicznych .....	126
6.3.	Modelowanie matematyczne zasobnika energii – akumulatora.....	127
7.	<b>Laboratoryjne oprogramowanie systemów hybrydowych – budowa i wykorzystanie</b> .....	131
7.1.	Założenia modelu matematycznego symulującego funkcjonowanie elektrowni hybrydowej .....	131
7.2.	Struktura oprogramowania i zastosowane technologie .....	132
7.3.	Wykorzystanie oprogramowania i laboratoryjnego systemu hybrydowego do analiz stanów pracy elektrowni hybrydowej.....	135
7.4.	Wykorzystanie oprogramowania i laboratoryjnego systemu hybrydowego do analiz charakterystyk prądowo-napięciowych modułów fotowoltaicznych baterii ogniwo prototypowych w warunkach półprzemysłowych .....	144