

Ryszard Tytko

Fotowoltaika

Podręcznik dla studentów,
uczniów, instalatorów, inwestorów

© Copyright by: prof. dr inż. Ryszard Tytko

FOTOWOLTAIKA, Podręcznik dla studentów, uczniów, instalatorów, inwestorów.
Kraków 2020

Wydanie III

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. Ryszard Ciach – Prywatna Wyższa Szkoła Ochrony Środowiska
w Radomiu,

dr inż. Maciej Jarzębski – ekspert ds. Innowacji i Nanotechnologii,
Centrum NanoBioMedyczne w Poznaniu, UAM, Wydział Fizyki UAM,

mgr inż. Izabela Góralczyk – Zespół Szkół Elektrycznych nr 1 w Krakowie

Konsultant merytoryczny:

mgr inż. Tadeusz Rybak – Zespół Szkół Elektrycznych nr 1 w Krakowie

Korekta: mgr Kinga Pędracka

Projekt okładki i przygotowanie do druku: Ewa Koziół

ISBN: 978-83-8111-137-9

Wydawnictwo i Drukarnia

Towarzystwa Słowaków w Polsce

ul. św. Filipa 7, 31-150 Kraków

tel. 12 634-11-27, 12 632-66-04, 12 633-09-41

fax 12 632-20-80

e-mail: zg@tsp.org.pl

www.tsp.org.pl

Ryszard Tytko

Fotowoltaika

Podręcznik dla studentów,
uczniów, instalatorów, inwestorów

Wydanie III

Kraków 2020

W związku z wejściem z życie Rozporządzenia Ministra Edukacji Narodowej z dnia 16 maja 2019 r. w sprawie podstaw programowych kształcenia w zawodach szkolnictwa branżowego oraz dodatkowych umiejętności zawodowych w zakresie wybranych zawodów szkolnictwa branżowego, zaistniała konieczność przygotowania podręcznika, w którym zostaną zawarte treści zgodne z wymogami ww. podstaw programowych m.in.: dla zawodu technik urządzeń i systemów energetyki odnawialnej (311930). Zawarte w podręczniku treści obejmują podstawę teoretyczną omawianych zagadnień, projekty rozwiązań technicznych, ich praktyczną realizację, dotyczącą m.in. urządzeń fotowoltaicznych, racjonalnej gospodarki energią.

Zgodnie z rozporządzeniem MEN z dnia 8 czerwca 2009 roku w sprawie dopuszczenia do użytku w szkole podręczników w § 27 stwierdza się, że w szkole mogą być stosowane podręczniki niewpisane do wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia w zawodach, albo wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia w profilach kształcenia ogólnozawodowego, jeżeli w wykazie brak jest podręcznika do nauczania danego zawodu lub profilu kształcenia ogólnozawodowego.

W opracowaniu tym skoncentrowano się na praktycznym wykorzystaniu energii słonecznej w urządzeniach do produkcji energii elektrycznej, racjonalnej gospodarki energią elektryczną. Informacje zamieszczone w książce, służą jedynie do celów edukacyjnych i nie mogą być podstawą do wykorzystania w konkretnych instalacjach OZE. Wykorzystanie tych informacji do celów komercyjnych, wiąże się z uzyskaniem pisemnej zgody od autorów cytowanych w tekście.

Wszelkie znaki i schematy cytowane w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi ich właścicieli.

Spis treści

Od autora	15
Perspektywy rozwoju fotowoltaiki w Polsce	17
Struktura nakładów inwestycyjnych kosztów eksploatacyjnych dla elektrowni fotowoltaicznych	27
Wybrane zagadnienia z ustawy Prawo energetyczne dotyczące fotowoltaiki	29
Wykaz wybranych oznaczeń, wielkości i ich jednostek	41
Symbole graficzne wg PN-EN 60617 stosowane w schematach elektrycznych	45

MODUŁ I

Bezpieczeństwo i higiena pracy. Ochrona przeciwpożarowa	57
1. Bezpieczeństwo i higiena pracy (BHP)	57
2. Instrukcje BHP	57
3. BHP a ergonomia	57
4. Stanowisko pracy	58
5. Elementy stanowiska pracy	58
6. Zadania służb BHP	59
7. Pierwsza pomoc	59
8. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych	60
9. Sprzęt ochronny	61
10. Sposoby ratowania porażonych prądem elektrycznym	62
11. Ochrona przeciwpożarowa	64
12. Prewencja pożarowa	64
13. Zapobieganie pożarom	65
14. Sposoby ratowania osoby poszkodowanej w pożarze	65
15. Czynnności ratujące	66

MODUŁ II

Podstawy elektrotechniki	67
1. Prąd stały	67
1.1. Prąd elektryczny	67
1.2. Napięcie elektryczne	68
1.3. Obwody elektryczne	68
1.4. Prawo Ohma	69
1.5. Obliczanie rezystancji	69
1.6. Łączenie rezystorów	69
1.7. Zależność rezystancji od temperatury	70
1.8. Źródła prądu stałego	70
1.9. Prawa obwodu elektrycznego	71
1.9.1. Pierwsze prawo Kirchhoffa	71
1.9.2. Drugie prawo Kirchhoffa	72
1.10. Stany pracy źródeł energii elektrycznej	72
1.11. Moc prądu stałego	72
1.12. Energia prądu stałego	73
1.13. Prawo Joule'a – Lenza	74
2. Prąd przemienny jednofazowy	74
2.1. Analiza obwodów zawierających elementy R, L, C	75
2.1.1. Obwód elektryczny z rezystancją	75
2.1.2. Obwód elektryczny z cewką o indukcyjności L (reaktancją indukcyjną)	76
2.1.3. Obwód elektryczny z kondensatorem o pojemności C (reaktancją pojemnościową)	77
2.1.4. Obwód elektryczny szeregowy z elementami R, L, C	78
2.1.5. Obwód elektryczny równoległy z elementami R, L, C	79
3. Kondensatory	81
3.1. Pojemność kondensatora	81
3.2. Łączenie kondensatorów	82
4. Moc prądu przemiennego jednofazowego	82
4.1. Moc czynna	82
4.2. Moc bierna	83
4.3. Moc pozorna	84
5. Układy trójfazowe	84
5.1. Układ połączeń odbiorników w gwiazdę	84
5.2. Układ odbiorników połączonych w trójkąt	85
6. Pomiar mocy w układach 3 fazowych	86
7. Pomiar energii w obwodach trójfazowych	87

Urządzenia i instalacje elektryczne 89

1. Oznaczenia przewodów i zacisków	89
1.1. Wybrane oznaczenia kabli i przewodów według normy PN: 60446	91
1.2. Przekroje przewodów	92
1.3. Wybrane przykłady oznaczeń przewodów	92
1.4. Podział przewodów ze względu na pełnioną funkcję	93
1.5. Oznaczenia przewodów i zacisków odbiorników	93
2. Łączenie przewodów	94
3. Wybrane zagadnienia ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach elektrycznych do 1 kV	95
3.1. Oddziaływanie prądu elektrycznego na organizm ludzki	95
3.2. Warunki środowiskowe	96
3.3. Stopnie ochrony obudów urządzeń elektrycznych	97
3.4. Klasy ochronności urządzeń elektrycznych i elektronicznych	98
3.5. Napięcia i układy sieciowe	98
3.6. Układy sieci	99
3.7. Charakterystyka układów sieciowych	100
4. Środki ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym przy eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych	102
4.1. Rodzaje ochron przeciwporażeniowych	102
4.1.1. Równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim ..	102
4.1.2. Ochrona przed dotykiem bezpośrednim (ochrona podstawowa)	104
4.2. Ochrona przed dotykiem pośrednim (ochrona dodatkowa)	105
4.2.1. Ochrona przez zastosowanie samoczynnego wyłączenia zasilania ..	105
4.2.2. Wyłączniki nadmiarowo-prądowe	106
4.3. Urządzenia ochronne różnicowoprądowe	109
4.4. Ochrona przed dotykiem pośrednim przez samoczynne wyłączenie zasilania w układzie sieciowym TN	116
4.5. Ochrona przez zastosowanie urządzenia II klasy ochronności	118
4.6. Ochrona przez zastosowanie izolowania stanowiska	119
4.7. Ochrona przez zastosowanie separacji elektrycznej	119
4.8. Ochrona przez zastosowanie nieuziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych	121
4.9. Połączenia wyrównawcze	122
5. Przewody ochronne, ochronno-neutralne i wyrównawcze	124
6. Uziomy i przewody uziemiające	125
6.1. Uziomy naturalne	126
6.2. Uziomy sztuczne	126
7. Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi lub łączeniowymi	129
8. Przyłączanie urządzeń elektrycznych	132
9. Zasilanie budynku	133
10. Instalacje elektryczne w mieszkaniach i budynkach mieszkalnych	133

11. Wybrane zasady wykonania instalacji elektrycznej w budynku	137
12. Eksploatacja instalacji elektrycznych	139
13. Pomiar ciągłości przewodów	140
14. Pomiar rezystancji izolacji instalacji elektrycznej.	141
15. Pomiar rezystancji izolacji podłóg i ścian	143
16. Pomiar rezystancji uziomu.	143
17. Sprawdzenie skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim przez samoczynne wyłączenie zasilania	144
18. Sprawdzanie działania urządzeń ochronnych różnicowoprądowych . . .	147
19. Protokół odbiorczy.	147
20. Ogólne zasady eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych	147
21. Dokumentacja techniczna	148
22. Przyjmowanie urządzeń do eksploatacji	149
23. Prowadzenie eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych	150
24. Kontrola eksploatacji.	150

MODUŁ IV

Technologia wykonania i logistyka robót instalacyjnych . . 151

1. Kosztorysy – rodzaje i sposoby obliczeń.	151
1.1. Kosztorys inwestorski	152
1.2. Kosztorys ofertowy	152
1.3. Kosztorys zamienny	154
1.4. Kosztorys powykonawczy	154
1.5. Rodzaje kalkulacji kosztorysowej	155
1.5.1. Kalkulacja uproszczona	155
1.5.2. Kalkulacja szczegółowa	156
2. Oferty w postępowaniu o udzielenie zamówienia publicznego.	157
2.1. Treść projektu oferty	157
3. Specyfikacja Istotnych Warunków Zamówienia (SIWZ)	158
4. Przekazywanie SIWZ dla wykonawców	159
5. Przykładowa specyfikacja wykonania i odbioru robót i materiałów instalacyjnych	159
5.1. Przedmiot zamówienia	160
5.2. Przedmiot i zakres robót instalacyjnych.	160
5.3. Prace towarzyszące i roboty tymczasowe	160
5.4. Teren budowy.	160
5.4.1. Organizacja robót	160
5.4.2. Harmonogram robót	160

5.4.3. Wprowadzenie na budowę	161
5.4.4. Koordynacja robót	161
5.4.5. Zabezpieczenie interesów osób trzecich	162
5.4.6. Ochrona środowiska i zdrowia ludzi	162
5.4.7. Bezpieczeństwo i higiena pracy	163
5.4.8. Zaplecze budowy	163
5.4.9. Organizacja ruchu	164
5.4.10. Ogrodzenie	164
5.4.11. Zabezpieczenie chodników i jezdni	164
6. Wymagania dotyczące wyrobów instalacyjnych	164
7. Wymagania dotyczące sprzętu i maszyn	165
8. Wymagania dotyczące środków transportu	165
9. Sposób wykonania robót instalacyjnych	166
10. Kontrola oraz odbiór robót instalacyjnych	166
11. Wymagania dotyczące przedmiaru i obmiaru robót	168
12. Odbiór robót i przekazanie do użytku	170
13. Sposób rozliczenia robót tymczasowych i prac towarzyszących	171
14. Dokumenty, normy i przepisy	171

MODUŁ V

Energia słoneczna	173
1. Atmosfera Ziemi	174
2. Oddziaływanie atmosfery z promieniowaniem	174
3. Wielkość energii słonecznej na Ziemi	175
4. Nasłonecznienie w Polsce	176
5. Zalety promieniowania słonecznego jako źródła energii	176
6. Wady promieniowania słonecznego jako źródła energii	176
7. Sposoby produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem energii słonecznej	177
7.1. Metoda heliologiczna	177
7.2. Metoda helioelektryczna	178
8. Najnowsze technologie wytwarzania ogniw fotowoltaicznych	179
8.1. Ogniwa perowskitowe	179
8.2. Moduły fotowoltaiczne z warstwą grafenową	181
8.3. Projekt „Quantum Glass” spółki ML System	182
8.4. Technologia skoncentrowanej fotowoltaiki (Concentrated Photovoltaics, CPV)	183
8.5. Moduły PV z powłoką grafenową	184

8.6. Moduły fotowoltaiczne w technologii PERT	184
8.7. Elewacja z folii fotowoltaicznej	186
9. Wiadomości wstępne z optoelektroniki	187
10. Budowa i zasada działania ogniw krzemowych	189
10.1. Podział ogniw PV	190
11. Ogniwa z krzemu monolitycznego	190
11.1. Budowa fotoogniwa	190
11.2. Technologia wytwarzania fotoogniwa	192
11.3. Moduł half cut cells – ogniwa półówkowe	193
12. Ogniwa polikrystaliczne	196
12.1. Budowa fotoogniwa	196
13. Ogniwa polikrystaliczne cienkowarstwowe	199
13.1. Budowa fotoogniwa	199
13.2. Technologia wytwarzania ogniwa PV	199
14. Ogniwa z krzemu amorficznego	200
14.1. Budowa i technologia wytwarzania fotoogniwa	200
15. Ogniwa cienkowarstwowe jedno- i wielozłączowe z arsenku galu ...	202
15.1. Budowa i technologia wytwarzania	202
15.2. Przykład rozwiązania konstrukcyjnego	203
16. Ogniwa fotowoltaiczne z materiałów organicznych	203
16.1. Budowa i technologia wytwarzania	203
16.2. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne ogniw PV, na podłożu polimerowym	204
16.3. Sposoby produkcji	207
16.4. Sposoby montażu fotoogniw polimerowych elastycznych na dachu płaskim	207
17. Ogniwa fotowoltaiczne uczulane barwnikiem	209
17.1. Zasada działania	209
17.2. Budowa, parametry ogniwa	210
18. Hybrydowe panele słoneczne	211
18.1. Zasada działania	211
18.2. Budowa urządzenia	212
19. Dwustronne baterie słoneczne	215
19.1. Dachy pokryte dachówką w formie paneli fotowoltaicznych	215
20. Utrata mocy fotoogniw funkcji czasu pracy	217
20.1. Dioda bocznikująca fotoogniwo (by-pass)	217
20.2. Optymalizatory firmy Maxim Integrated	219
20.3. Optymalizatory firmy Tigo Energy (Tigo TS4-R-O)	220
21. Gorący punkt (hot spot)	220
21.1. Napięcie indukowane w module PID (Potential Induced Degradation) ..	221
21.2. Prąd upływu	221
21.3. Prąd doziemny	221
21.4. Pętla indukcyjna	221
21.5. Zwarcie doziemne po stronie DC instalacji PV	221

21.6. Badanie modułów fotowoltaicznych	222
22. Analiza pracy fotoogniwa	224
22.1. Podstawowe zależności	224
22.2. Wpływ temperatury na parametry fotoogniwa	227
22.3. Sposoby połączeń modułów PV	229
22.4. Wpływ promieniowania słonecznego na parametry modułu fotowoltaicznego	230
22.4.1. Współczynnik wypełnienia FF.	231
22.5. Wybrane wyniki badań modułów fotowoltaicznych	231
22.6. Wybrane wyniki badań instalacji fotowoltaicznej „podążającej za słońcem”	240
23. Parametry osprzętu instalacji PV	243
23.1. Regulatory ładowania	243
23.2. Przetwornice napięcia	245
23.2.1. Inwerter w instalacji fotowoltaicznej.	247
23.2.2. Przykładowe rozwiązanie	254
23.2.3. Parametry elektryczne pracy falownika 1-fazowego.	254
23.2.4. Falowniki 3-fazowe	255
23.2.5. Falowniki hybrydowe	257
23.2.6. Falowniki fotowoltaiczne z systemem kompensacji mocy biernej.	258
23.2.7. Zagadnienia eksploatacyjne dotyczące załączenia do sieci falowników	260
23.3. MPP tracker	262
23.4. Monitorowanie na poziomie paneli	263
23.4.1. Moduły fotowoltaiczne SolarEdge zintegrowane z optymalizatorami mocy	265
23.5. Modem komunikacyjny	266
23.5.1. Zasada działania.	266
23.5.2. Charakterystyka urządzeń	266
23.6. Sposób łączenia przewodów po stronie DC.	267
23.7. Dobór przewodów w instalacji fotowoltaicznej.	268
23.7.1. Warunki doboru przekroju przewodów ze względu na obciążalność prądową długotrwałą	269
23.7.2. Wyznaczanie przekroju przewodów ze względu na obciążalność długotrwałą po stronie DC	269
23.7.3. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie DC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia	270
23.7.4. Sprawdzenie wielkości strat mocy na przewodach łączących łańcuch (string) modułów fotowoltaicznych z falownikiem.	271
23.7.5. Wyznaczanie przekroju przewodów i kabli ze względu na obciążalność długotrwałą i przeciążalność po stronie prądu zmiennego AC instalacji fotowoltaicznej	272
23.7.6. Wyznaczanie przekroju przewodów po stronie AC ze względu na dopuszczalne spadki napięcia	272
23.7.7. Dobór zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych	273
23.8. Mierniki instalacji fotowoltaicznych	274
23.9. Pomiary natężenia promieniowania słonecznego i temperatury modułu fotowoltaicznego	275

24. Dobór parametrów instalacji fotowoltaicznych	276
24.1. Rodzaje instalacji PV	276
24.2. Mała instalacja fotowoltaiczna	277
24.3. Wybrane układy połączeń fotoogniw	281
24.3.1. Sieć autonomiczna off-grid (wydzielona)	281
24.3.2. Praca elektrowni PV na sieć „sztywną” (on-grid)	286
25. Wytyczne montażowe	288
25.1. Etapy realizacji inwestycji	288
25.2. Projekt techniczny	288
25.3. Etapy budowy	289
25.4. Zagadnienia techniczne montażu instalacji	289
25.5. Sposób montażu ogniw PV w rzędach	291
25.6. Systemy zabezpieczeń w instalacjach fotowoltaicznych	293
25.6.1. Rodzaje zabezpieczeń instalacji fotowoltaicznej	293
25.7. Ochrona odgromowa instalacji fotowoltaicznych	293
25.7.1. Ochrona odgromowa – rodzaje ochrony	295
25.7.2. Ochrona odgromowa – ochrona zewnętrzna	295
25.7.3. Ochrona odgromowa farm fotowoltaicznych – ochrona zewnątrzna	299
25.7.4. System ochronny instalacji PV bez zewnętrznej ochrony odgromowej (zwodów pionowych) – ochrona wewnętrzna	299
25.7.5. Ogólne zasady doboru ograniczników po stronie DC	301
25.7.6. Ochrona przetężeniowa i zwarciowa	304
25.7.7. Ochrona przeciwporażeniowa w systemach fotowoltaicznych	305
25.8. Odbiór instalacji	306
26. BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznej	307
26.1. Zasady BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznych	307
26.2. Kompletność dostawy materiałów i urządzeń	309
26.3. Transport i składowanie	309
26.4. Dokumentacja techniczna	309
26.5. Narzędzia i sprzęt dodatkowy	309
26.6. Informacje ogólne	309
26.7. Przepisy bezpieczeństwa	310
26.8. Ochrona przeciwporażeniowa	310
26.8.1. Ochrona przeciwpożarowa	310
26.8.2. Warunki środowiskowe	312
26.8.3. Postępowanie w razie pożaru budynku z instalacją PV	312
26.8.4. Analiza skutków pożarów instalacji fotowoltaicznych	313
26.8.5. Gaszenie pożaru nocą z instalacją PV na dachu	314
26.8.6. Łuk elektryczny	314
26.8.7. Zasady wyposażenia obiektów w gaśnice	314
26.8.8. Gaszenie urządzeń elektrycznych	315
26.8.9. Rozłączniki pożarowe	315
26.8.10. Optyimizery	316
26.8.11. Dokumentacja instalacji PV	316
26.8.12. Ubezpieczenie instalacji PV na wypadek pożaru	316
26.9. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych	316
26.10. Oznaczenia i symbole	317

27. Montaż instalacji fotowoltaicznej	319
27.1. Systemy montażowe dla modułów skrzynkowych	319
27.1.1. Montaż na dachu spadzistym	319
27.1.2. Montaż ogniw PV na dachu płaskim lub płaszczyźnie poziomej	321
27.1.3. Sposób montażu modułów	322
27.1.4. Zintegrowane z dachem moduły fotowoltaiczne	323
27.1.5. Montaż fotoogniw „podążających za słońcem”.	323
27.1.6. Konstrukcja do mocowania na stropie	325
27.1.7. Konstrukcja wsporcza mocowana do betonowych bloków	325
27.1.8. System samonośny	326
27.2. Montaż systemów PV na gruncie	327
27.3. Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim	327
27.4. Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym dachówką betonową	330
27.5. Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim pokrytym blachą falistą	333
27.6. Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym blachodachówką	334
27.7. Najnowsze rozwiązania techniczne w zakresie mocowania modułów PV	335
27.8. Fotowoltaika zintegrowana z budynkiem – Instalacje BIPV (Building Integrated Photovoltaics BIPV)	336
27.9. Agrofotowoltaika (APV)	342
28. Eksploatacja instalacji fotowoltaicznych	343
28.1. Wymiana uszkodzonego modułu	343
28.2. Mycie instalacji fotowoltaicznej	343
28.3. Sprawdzenie mocowania paneli	344
28.4. Usuwanie śniegu	344
28.5. Stan przewodów zasilających w instalacji prądu stałego (DC)	345
28.6. Sprawdzenie stanu technicznego falownika	345
28.7. Czynniki wpływające ujemnie na produkcję energii z elektrowni fotowoltaicznej	345
28.8. Uruchamianie systemu fotowoltaicznego	345
28.9. Projektowanie systemów PV za pomocą symulacji komputerowych	349
29. Magazynowanie energii z OZE	350
29.1. Akumulatory litowo-jonowe	352
29.2. Dobór wielkości mocy akumulatorów do instalacji fotowoltaicznej off-grid	355
29.3. Dobór wielkości mocy akumulatorów do instalacji fotowoltaicznej on-grid	357
29.4. Duże magazyny energii	357
29.5. Wirtualna elektrownia złożona z tysięcy domowych baterii	358
29.6. Enea Operator zbuduje sieć inteligentną na terenie Szczecina, powiatu gryfińskiego i Świnoujścia	358
29.7. Recykling modułów fotowoltaicznych	358
29.8. Wykorzystywanie energii elektrycznej z fotoogniw, do elektrolizy wody	360
29.9. Ogniwa paliwowe (fuel cells)	360
29.10. Metanizacja wodoru z dwutlenkiem węgla ($H_2 + CO_2 = SNG + O_2$)	361

MODUŁ VI

Przykładowy projekt budowlano-wykonawczy363

1. Procedury formalno-prawne związane z budową mikroinstalacji fotowoltaicznej obejmują: 363
2. Warunki przyłączenia mikroinstalacji fotowoltaicznej do sieci elektroenergetycznej przez osobę fizyczną 364
3. Koncepcja samowystarczalnego budynku niskoenergetycznego zasilanego z OZE, dla domu z Programu „Mieszkanie Plus” 400

MODUŁ VII

Przykładowe zestawy zadań405

Odpowiedzi do zestawów zadań439

MODUŁ VIII

Przykładowe tematy zadań obliczeniowych i opisowych: Systemy fotowoltaiczne441

Literatura463