

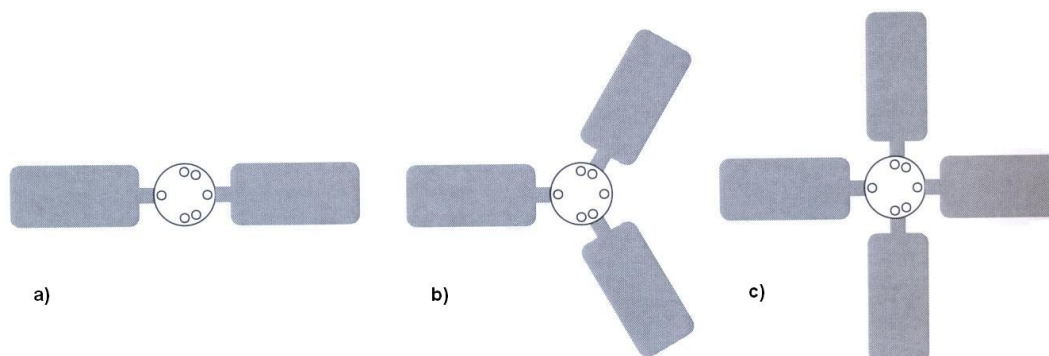
## Ćwiczenie:

### Energia wiatru - badania eksperymentalne turbiny wiatrowej

#### Opis stanowiska pomiarowego

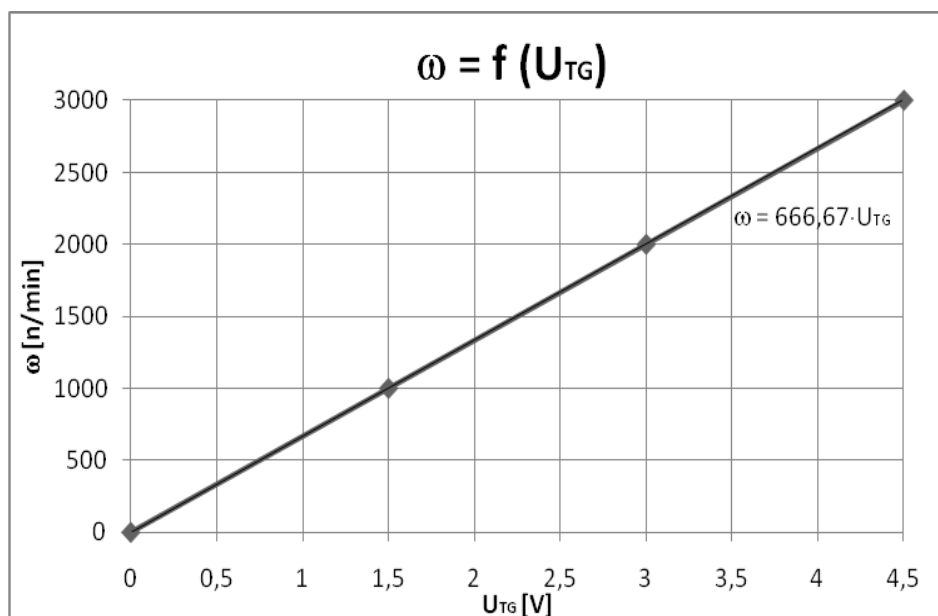
W skład stanowiska do badań energii wiatru wchodzi:

- płyta – podstawa stanowiska,
- dmuchawa – wentylator z potencjometryczną regulacją prędkości,
- anemometr – wiatromierz z podstawką,
- dwa multimetry – mierniki uniwersalne,
- pokrywa ochronna z podziałką kąтового położenia łopatek (kąta nachylenia),
- osiowa turbina wiatrowa,
- 8 skrzydeł (łopatek): 4 proste i 4 zakrzywione (łukowate), sposób montażu łopatek na osi generatora przedstawiono na rys. 4.1,
- wkrętak (do montażu łopatek),
- przewody pomiarowe,
- przewód zasilający wentylator,
- moduł z potencjometrem rezystancyjnym (od 0 do  $100\Omega$ ).



Rys.4.1. Sposoby montażu – rozmieszczenia łopatek na osi generatora wiatrowego:  
a) wirnik dwupłatowy, b) wirnik trójpłatowy, c) wirnik czteropłatowy

Prędkość obrotowa turbiny wiatrowej może być wyznaczona w wyniku przeliczenia wskazań tachogeneratora, zmierzonych za pomocą woltomierza według poniższej charakterystyki (rys.4.2).



Rys.4.2. Charakterystyka zależności prędkości obrotowej turbiny wiatrowej  $\omega$  [n/min] od napięcia tachogeneratora  $U_{TG}$  [V]

Przed przystąpieniem do badań wszystkie elementy powinny znajdować się w odpowiednich miejscach podstawy stanowiska, które wskazuje prowadzący zajęcia. Nie należy rozpoczynać pomiarów bez sprawdzenia połączeń przez prowadzącego zajęcia.

### Przebieg ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest kompleksowe badanie systemu z turbiną wiatrową w warunkach generowanej energii wiatru. Zakres ćwiczenia obejmuje wykonanie wybranych eksperymentów. Pomiarów oraz sprawozdanie końcowe należy wykonywać według zamieszczonych poniżej wskazówek.

#### **Eksperyment nr 1**

#### **Wyznaczenie charakterystyki prędkości wiatru w funkcji ustawienia potencjometru wentylatora**

Elementy stanowiska pomiarowego:

- podstawa,
- wentylator,
- wiatromierz.

Wyniki zamieścić w tabeli 4.I.

Tabela 4.I

Ustawienie potencjometru $G$ [-]	Generowana prędkość wiatru $w$ [m/s]
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Do sprawozdania załączyć:

- wypełnioną tabelę 4.I,
- przedstawioną graficznie (na wykresie) charakterystykę  $w=f(G)$ .

## **Eksperyment nr 2**

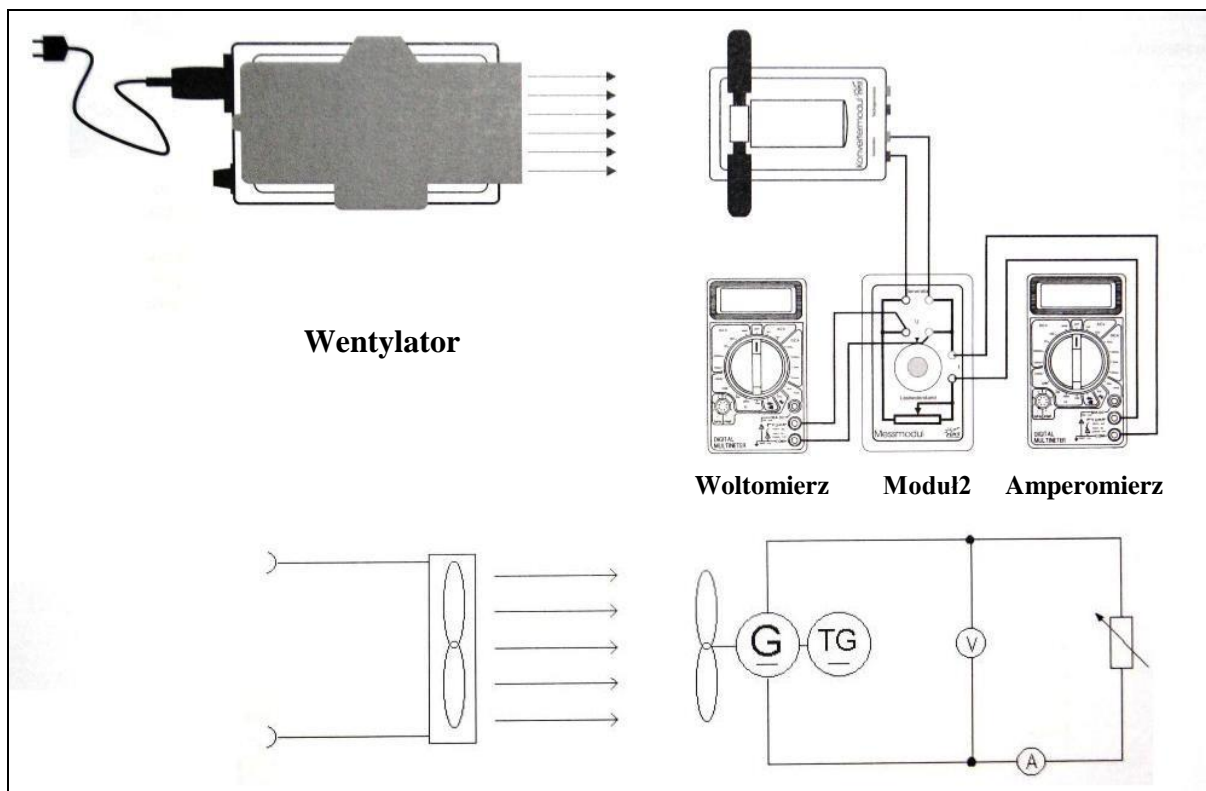
### **Wpływ kształtu łopatek na wartość mocy wyjściowej $P$ generatora**

Elementy stanowiska pomiarowego (rys.4.3):

- podstawa,
- wentylator,
- turbina wiatrowa z łopatkami,
- mierniki uniwersalne (woltomierz i amperomierz),
- moduł z obciążeniem rezystancyjnym.

Do badań przyjąć następujące ustawienia:

- 2 łopatki,
- kształt łopatek: proste/zakrzywione,
- kąt nachylenia łopatek:  $60^\circ$ ,
- prędkość wiatru: według wskazania prowadzącego zajęcia (np. wskazanie potencjometru  $G=4.5$ ),
- obciążenie:  $50\Omega$ .



Rys.4.3. Schemat ideowy oraz elektryczny połączeń do wyznaczenia mocy wyjściowej generatora wiatrowego w zależności od kształtu łopatek

Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 4.II.

Tabela 4.II

	1 łopatka	2 łopatka	$U$ [V]	$I$ [mA]	$P$ [mW]
Łopatki proste					
Łopatki zakrzywione (zgodnie)					
Łopatki zakrzywione (odwrotnie)					

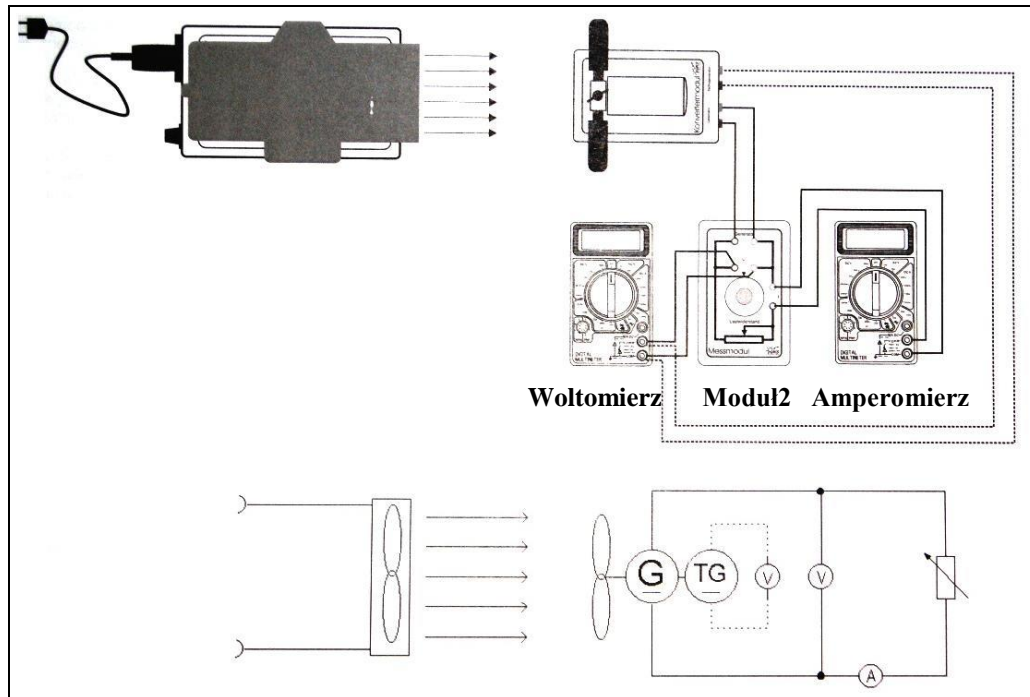
Do sprawozdania załączyć:

- wyniki pomiarów - wypełnioną tabelę 4.II,
- odczytać wartość rzeczywistej prędkości wiatru z charakterystyki  $w=f(G)$  wykreślonej w eksperymencie nr 1,
- przykładowe obliczenie mocy  $P$ ,
- ocenić, jaki kształt łopatek gwarantuje generowanie wyższej mocy?

### **Eksperyment nr 3** **Wpływ liczby łopatek na wartość mocy wyjściowej $P$ generatora**

Elementy stanowiska pomiarowego (rys.4.4):

- podstawa,
- wentylator,
- turbina wiatrowa z łopatkami,
- mierniki uniwersalne (2 woltomierze i amperomierz),
- moduł z obciążeniem rezystancyjnym.



Rys.4.4. Schemat ideowy oraz elektryczny połączeń do wyznaczenia mocy wyjściowej generatora wiatrowego w funkcji liczby łopatek

Do badań przyjąć następujące ustawienia:

- 3 lub 4 łopatki,
- kształt łopatek: zakrzywione,
- kąt nachylenia łopatek:  $75^\circ$ ,
- prędkość wiatru: ustawienie potencjometru G tak jak w eksperymencie nr 2,
- obciążenie:  $0-100\Omega$  co  $20\Omega$ .

Wyniki pomiarów zamieścić w tabelach 4.III-4.IV.

Tabela 4.III  
Wyniki pomiarów i obliczeń dla 3 łopatek

$R$ [ $\Omega$ ]	$U$ [V]	$I$ [mA]	$P$ [mW]	$U_{TG}$ [V]	$\omega$ [n/min]
0					
20					

40					
60					
80					
100					

Tabela 4.IV  
Wyniki pomiarów i obliczeń dla 4 łopatek

$R$ [ $\Omega$ ]	$U$ [V]	$I$ [mA]	$P$ [mW]	$U_{TG}$ [V]	$\omega$ [n/min]
0					
20					
40					
60					
80					
100					

Do sprawozdania załączyć:

- wypełnione tabele 4.III – 4.IV,
- przykłady obliczeń odpowiednich parametrów,
- wykreślone 2 charakterystyki  $P=f(\omega)$  dla 3 i 4 łopatek (według tabel 4.III - 4.IV) w jednym układzie współrzędnych (zaznaczyć punkty maksymalnych mocy),
- określić, jaka zależność występuje pomiędzy liczbą łopatek a optymalną prędkością obrotową (dla  $P_{max}$ )?

#### **Eksperyment nr 4**

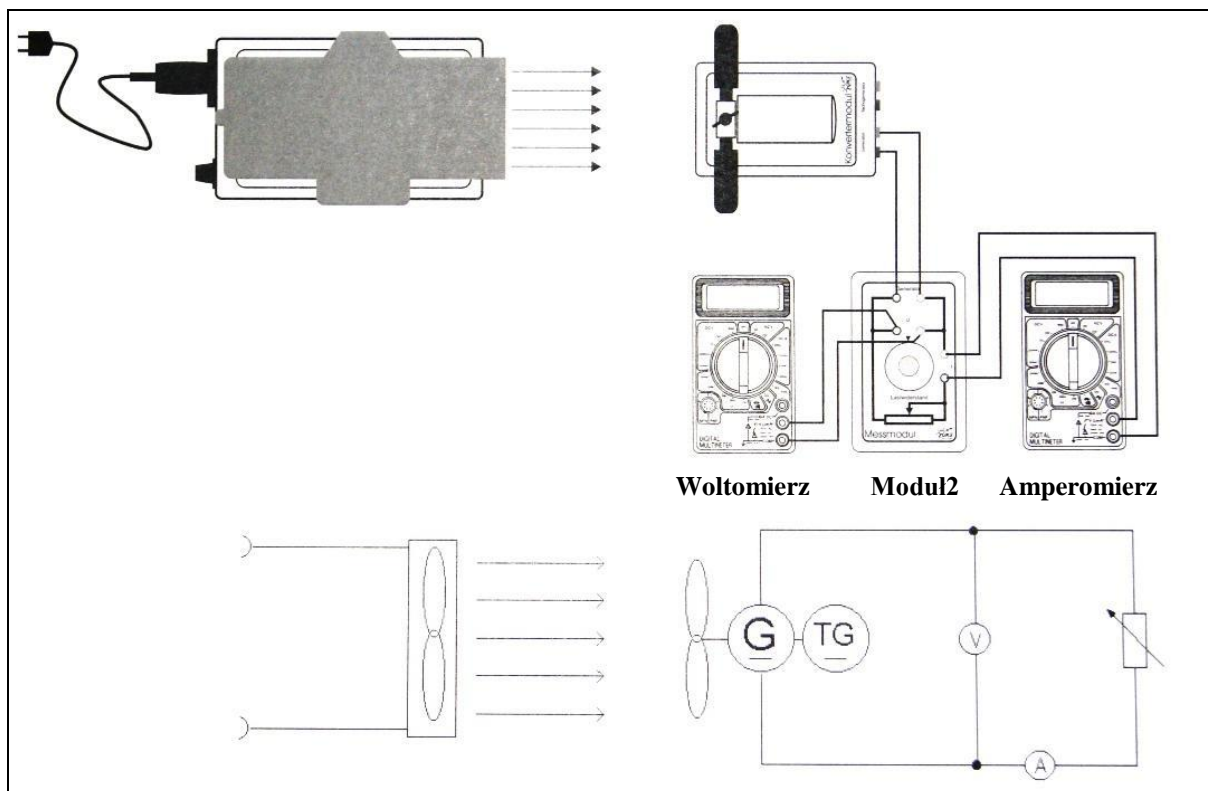
##### **Wpływ ustawienia kąтового łopatek na wartość mocy wyjściowej $P$ generatora**

Elementy stanowiska pomiarowego (rys.4.5):

- podstawa,
- wentylator,
- generator wiatrowy z łopatkami,
- mierniki uniwersalne (woltomierz i amperomierz),
- moduł z obciążeniem rezystancyjnym.

Do badań przyjąć następujące ustawienia:

- 3 łopatki,
- kształt łopatek: proste,
- kąt nachylenia łopatek: 0-90° co 15°,
- prędkości wiatru: według wskazania prowadzącego zajęcia (np. wskazanie potencjometru  $G=7$ ),
- obciążenie: 50 $\Omega$ .



Rys.4.5. Schemat ideowy oraz elektryczny połączeń do wyznaczenia mocy wyjściowej generatora wiatrowego w funkcji ustawienia kąтового łopatek

Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 4.V.

Tabela 4.V

Kąt nachylenia $\alpha$ [°]	$U$ [V]	$I$ [mA]	$P$ [mW]
0°			
15°			
30°			
45°			
60°			
75°			
90°			

Do sprawozdania dołączyć:

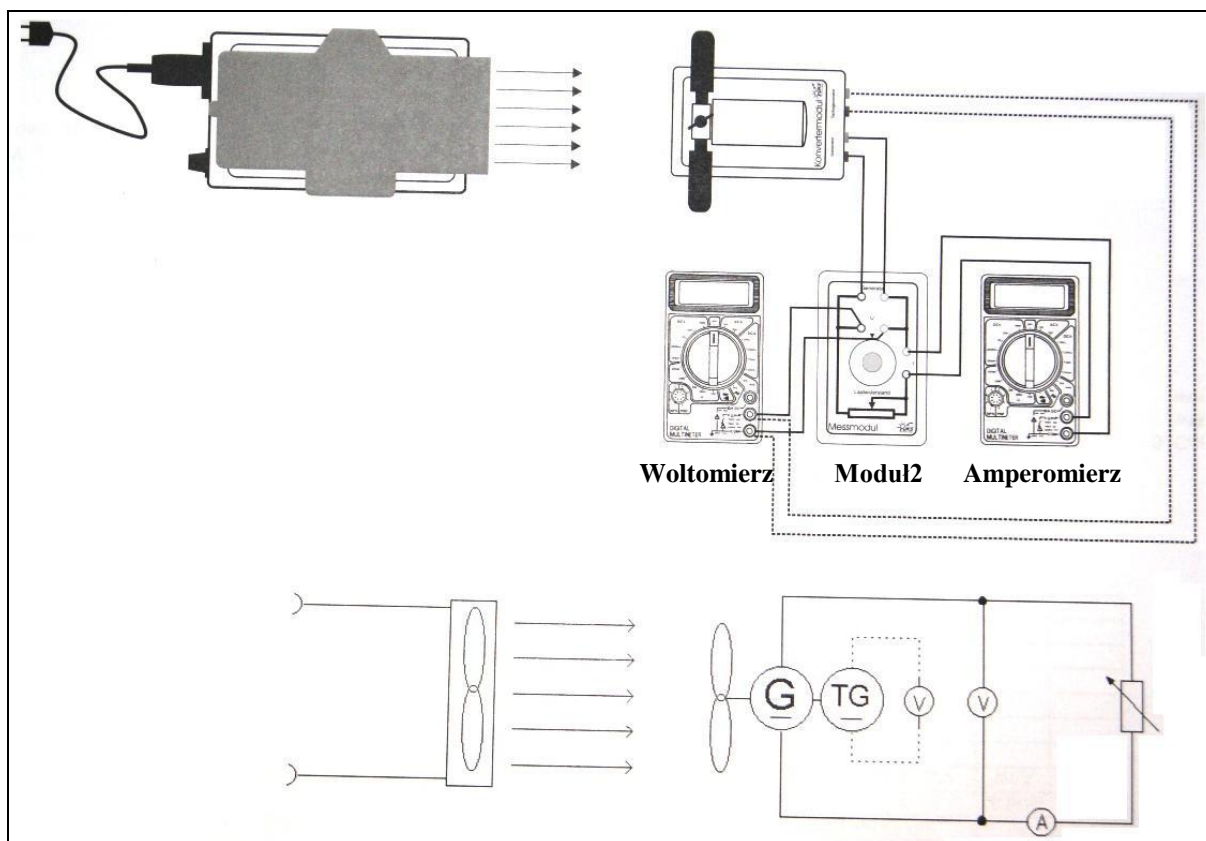
- wypełnioną tabelę 4.V,
- odczytaną wartość rzeczywistej prędkości wiatru z charakterystyki  $w=f(G)$  wykreślonej w eksperymencie nr 1,
- przykład obliczenia  $P$ ,
- wykreśloną charakterystykę  $P=f(\alpha)$  (zaznaczyć punkt maksymalnej mocy),
- określić wartość optymalnego kąta nachylenia łopatek?

## Eksperyment nr 5

### Wyznaczenie charakterystyki prądowo-napięciowej $I=f(U)$ generatora przy stałej prędkości obrotowej

Elementy stanowiska pomiarowego (rys.4.6):

- podstawa,
- wentylator,
- generator wiatrowy z łopatkami,
- mierniki uniwersalne (2 woltomierze i amperomierz),
- moduł z obciążeniem rezystancyjnym.



Rys.4.6. Schemat idealny oraz elektryczny połączeń do wyznaczenia charakterystyki prądowo-napięciowej generatora wiatrowego przy stałej prędkości obrotowej

Do badań przyjąć następujące ustawienia:

- 4 łopatki,
- kształt łopatek: zakrzywione,
- kąt nachylenia łopatek:  $60^\circ$ ,
- prędkość obrotowa turbiny: stała – podana przez prowadzącego zajęcia (utrzymywana z wykorzystaniem tachogeneratorsa i woltomierza  $U_{TG}=?$  V),
- obciążenie zmieniane w zakresie od 0 do  $100\Omega$  co  $10\Omega$ .

Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 4.VI.



Tabela 4.VI

$R$ [ $\Omega$ ]	$U$ [V]	$I$ [mA]	$P$ [mW]
0			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			
$\infty$			

Do sprawozdania dołączyć:

- wypełnioną tabelę 4.VI,
- wyznaczoną prędkość turbiny,
- przykład obliczenia  $P$ ,
- dwie charakterystyki  $I=f(U)$  i  $P=f(U)$  w jednym układzie współrzędnych (zaznaczyć punkty maksymalnych mocy),
- wartość rezystancji wewnętrznej generatora, wyznaczoną na podstawie narysowanych charakterystyk, wraz z krótkim opisem i wzorem.

### Sprawozdanie z przebiegu ćwiczenia

Sprawozdanie z przebiegu ćwiczenia powinno zawierać:

- przykładowe obliczenia z dyskusją jednostek dla każdej tabeli,
- wyniki pomiarów i obliczeń,
- wymagane charakterystyki,
- odpowiedzi do pytań końcowych w poszczególnych eksperymentach,
- wnioski.

### Bibliografia

1. Jastrzębska G.: Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, wyd. II, Warszawa 2009.
2. Lewandowski W.M.: Proekologiczne odnawialne źródła energii, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, wyd. II, Warszawa 2006.