



Politechnika Wrocławska  
Wydział Techniczno-Przyrodniczy

## **MD-217L-2**

Badanie turbiny wodnej Francisa

Stanowisko 7

## Spis treści

1. Charakterystyka stanowiska.....	3
1.1. Wstęp.....	3
1.2. Wyposażenie stanowiska.....	3
1.3. Schemat stanowiska.....	5
1.4. Turbina Francisa – podstawy teoretyczne.....	6
2. Obsługa stanowiska.....	10
2.1. Wskazówki ogólne.....	10
2.2. Bezpieczeństwo pracy z urządzeniami elektrycznymi.....	10
2.3. Zespół doprowadzenia wody.....	11
2.4. Oprogramowanie.....	11
2.5. Konserwacja i przechowywanie stanowiska.....	12
3. Oprogramowanie MD-217L-2.....	13
3.1. Opis interfejsu.....	13
3.2. Uruchomienie programu.....	14
4. Ćwiczenia - Pomiar charakterystyk zespołu turbiny przy stałym zasilaniu.....	15
4.1. Cel ćwiczenia.....	15
4.2. Program ćwiczenia.....	15
4.3. Opracowanie wyników.....	16

# 1. Charakterystyka stanowiska

---

## 1.1. Wstęp

Stanowisko dydaktyczne MD-217L-2 służy do przeprowadzania doświadczeń z użyciem turbiny Francisa. Stanowisko składa się z zespołu doprowadzenia wody, turbiny oraz układu generatora prądu. Zespół doprowadzenia wody tworzy zbiornik wraz z pompą wody, wyposażony jest on dodatkowo w czujnik przepływu oraz czujnik ciśnienia. Woda wpada do korpusu turbiny kształtem przypominającego ślimaka, następnie poprzez zespół nastawialnych pod różnym kątem łopatek zwanych kierownicami kierowana jest na obroty wirnik stanowiący główny element turbiny. Uzyskany moment obrotowy na wirniku turbiny za pomocą wału przenoszony jest do generatora prądu.

Stanowisko umożliwia:

- Regulację wydajności pompy podającej wodę.
- Regulację ciśnienia wody podawanej do turbiny za pomocą zaworu kulowego.
- Rejestrację przepływu oraz ciśnienia.
- Wyznaczenie prędkości obrotowej turbiny.
- Pomiar mocy uzyskanej przez turbinę na generatorze.

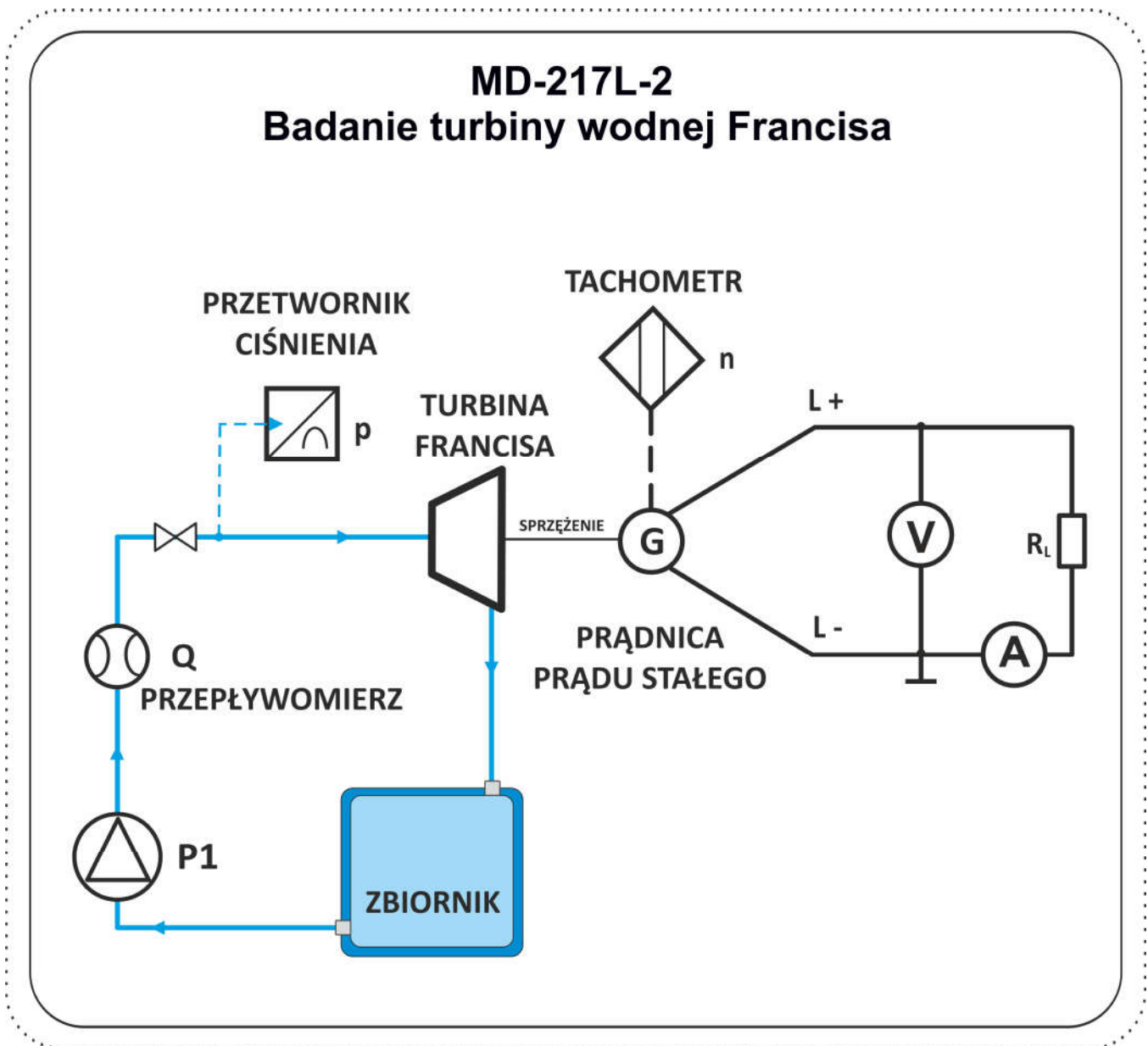
W punkcie 1.3. przedstawiono schemat technologiczny stanowiska.

## 1.2. Wyposażenie stanowiska

- Model turbiny Francisa
- Moduł badawczy
- Konstrukcja (stelaż) stanowiska z profili aluminiowych, wykonanie mobile (wyposażone w kółka jezdne)
- Zamknięty układ hydrauliczny
- Zawór regulacyjny ręczny
- Zbiornik wodny 40l
- Pompa zasilająca o regulowanej wydajności HL.S5.3-5 Hydroinstal
- Przetwornik ciśnienia PG2455 ifm
- Przetwornik przepływu SM9000 ifm
- Amperomierz i woltomierz wbudowany

- Tachometr ręczny
- Falownik 1-fazowy 230V AC NE1S-007 SBE Hitachi
- Szafka sterownicza
- Obciążenie turbiny – prądnica prądu stałego EC 035.240 3000 obr/min, 24V DC
- Obciążenie prądnicy – rezystor suwakowy BXD600 640VA 16,5  $\Omega$ /5,2A
- Elementy konstrukcyjne i wykonawcze niezbędne do prawidłowej i bezawaryjnej pracy stanowiska badawczego
- Zasilanie stanowiska: sieciowe 1-fazowe, 230 V AC, 50 Hz

### 1.3. Schemat stanowiska



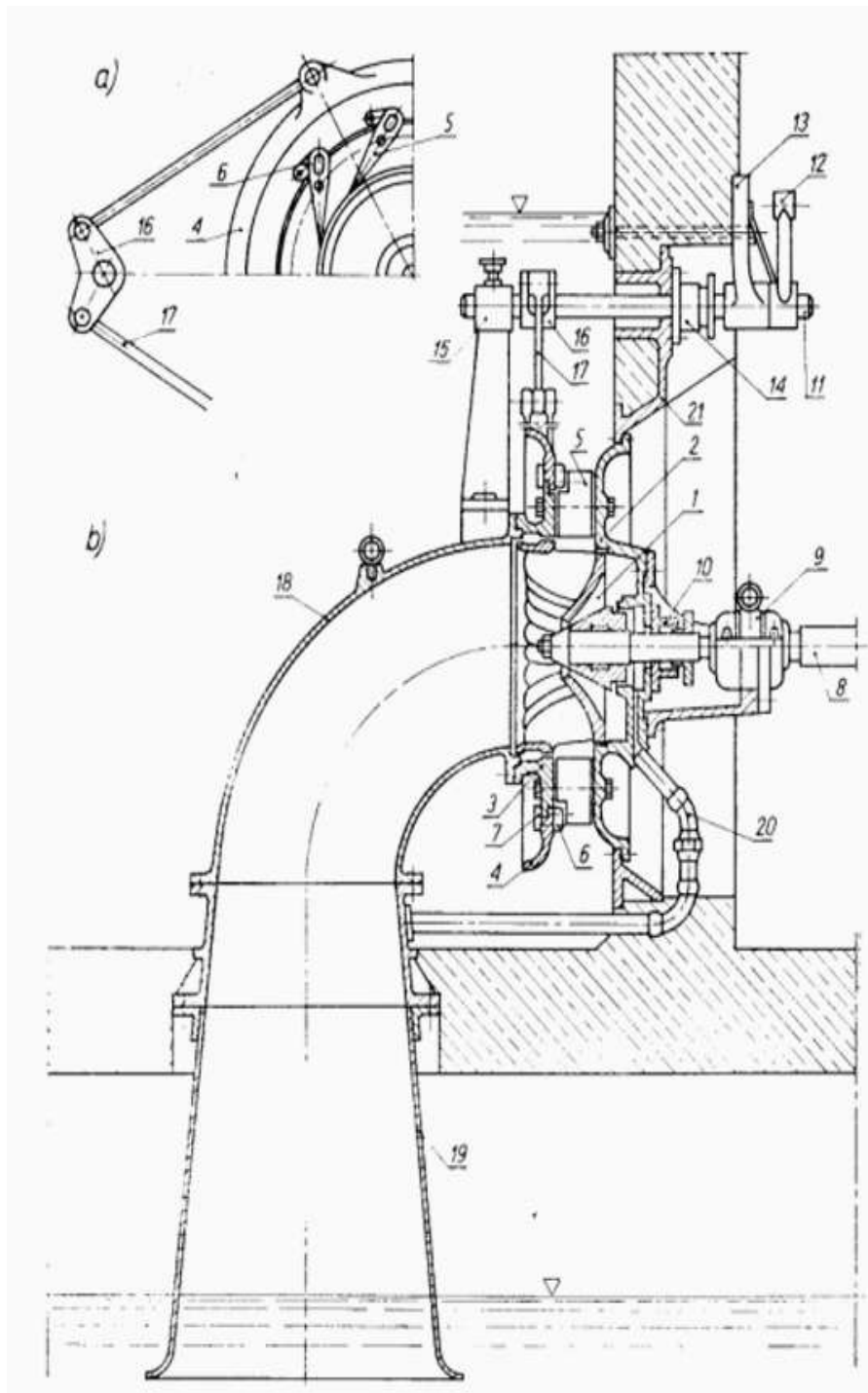
Rys. 1: Schemat technologiczny stanowiska MD-217L-2.

Legenda:

<b>P1</b>	Pompa wody	<b>Q</b>	Przepływomierz
<b>p.</b>	Przetwornik ciśnienia	<b>n</b>	Tachometr
<b>G</b>	Prądnica prądu stałego	<b>V</b>	Woltomierz
<b>A</b>	Amperomierz		

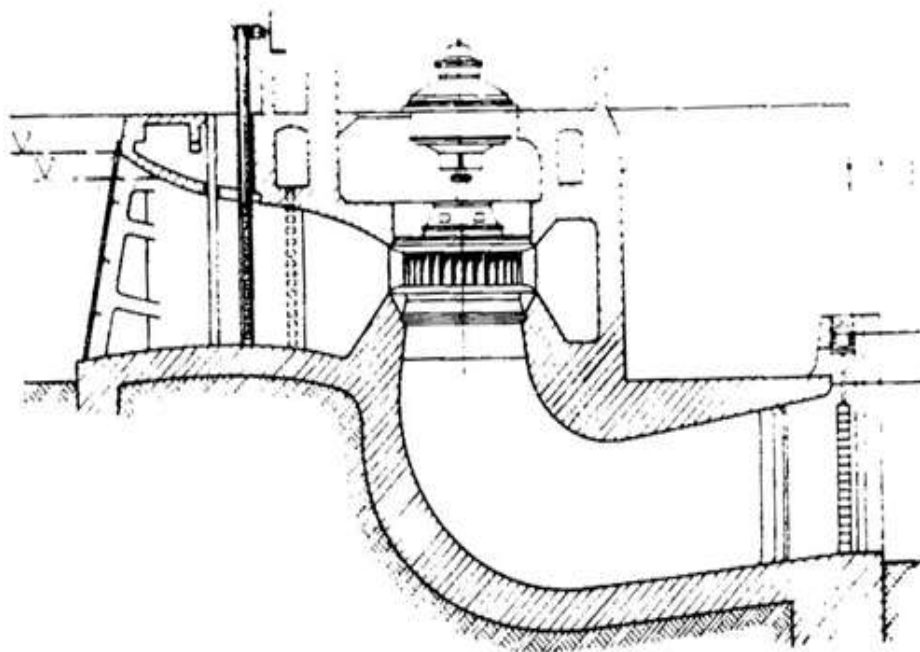
#### **1.4. Turbina Francisa – podstawy teoretyczne**

Turbinę Francisa wynalazł Amerykanin James Bicsenco Francis w 1849 r. Turbiny Francisa były stosowane w zakresie spadów do 500 m, lecz te wartości doszły już do spadów 670 m. Nowe rozwiązania techniczne turbin wodnych spowodowały, iż na spadach do 5 m zaprzestano stosować tego rodzaju turbin. Rozwiązania turbin Francisa są analogiczne do turbin Kaplana z różnicą w budowie wirnika i kierownicy. Częściami przepływowymi turbiny Francisa są: kierownica, wirnik, rura ssąca a także często występująca specjalnie ukształtowana obudowa w postaci kotła, leja lub też spirali, której zadaniem jest doprowadzenie strumienia wody do kierownicy (rys.2). Wirnik turbiny Francisa zbudowany jest z dwóch wieńców połączonych za pomocą łopatek. W zależności od spadu i jednostki mocy łopatki wirnika turbiny wykonuje się w różny sposób. Przy spadach do 50 m i jednostkach małej i średniej mocy są one wykonywane z miękkiej blachy stalowej pod prasą, a następnie łączone z wieńcami żeliwnymi podczas ich odlewania lub też spawane z wieńcami ze staliwa. Łopatki wirników przeznaczonych do pracy na większych spadach i przy jednostkach większej mocy wytwarza się ze staliwa w jednym odlewie z wieńcami lub oddzielnie (rys. 4), przy czym do łączenia tych elementów stosuje się spawanie. Łopatki wirnika obracają się wokół sworzni dystansowych, które to łączą pokrywę kierownicy z jej podstawą. Kolejnym rozwiązaniem jest łopatka połączona z czopami, która to obraca się na łożyskach. Jedno z łożysk umocowane jest w pokrywie, a drugie w podstawie kierownicy. Do przestawienia łopatek kierownicy służy pierścień regulacyjny oraz łączniki, a także dźwignia dwuramienna oraz cięgna.



Rys. 2: Turbina Francisa o wale poziomym z krzywakiem w komorze otwartej z regulacją wewnętrzną; 1-wirnik, 2-pokrywa kierownicy, 3-podstawa kierownicy, 4-pierścień regulacyjny, 5-łopatk kierownicza, 6-łącznik, 7-zderzak, 8-wał turbiny, 9-łożysko poprzeczno-osiowe, 10-dławnica, 11-wał regulacyjny, 12-dźwignia regulacyjna, 13-łożysko podwieszane, 14-dławnica, 15-łożysko wału regulacyjnego, 16-dźwignia dwuramienna, 17-cięgło regulacyjne, 18-krzywak, 19-rura ssawna, 20-przewód odprowadzający przecieki, 21-pierścień murowy

Elementy budowy kierownicy mają za zadanie uruchamianie łopatek turbiny oraz regulowanie dopływu wody na wirnik. Regulację tę możemy nazwać regulacją zewnętrzną, gdyż układ regulacyjny znajduje się poza przestrzenią wypełnioną wodą, natomiast w przypadku umieszczenia tego układu w przestrzeni wypełnionej wodą mówimy o regulacji wewnętrznej (turbiny pracujące pod spadami niskimi). Wodę wypływającą z wirnika możemy odprowadzić do kanału odpływowego za pomocą rury ssącej prostoosiowej lub zakrzywionej. Rura ssawna wytwarza podciśnienie u wylotu wirnika i ma za zadanie odzyskanie części energii kinetycznej wody opuszczającej wirnik. Turbiny Francisa o wałach pionowych (rys. 3) stosowane są głównie przy mniejszych spadach, zaś w przypadku dużych spadów stosowane są turbiny o wałach poziomych. Przy spadach nieprzekraczających 15 m turbiny Francisa o małych i średnich mocach wbudowane są zazwyczaj komory betonowe otwarte lub zamknięte, przy spadach 25 m w spiralę betonową, przy spadach około 100 m w komorę blaszaną lub żeliwną, natomiast przy jeszcze większych spadach spiralę wykonuje się ze staliwa. Aby uzyskać większy współczynnik szybkobieżności stosuje się turbiny wielowirnikowe.



Rys. 3: Turbina Francisa o wale pionowym w spirali betonowej.

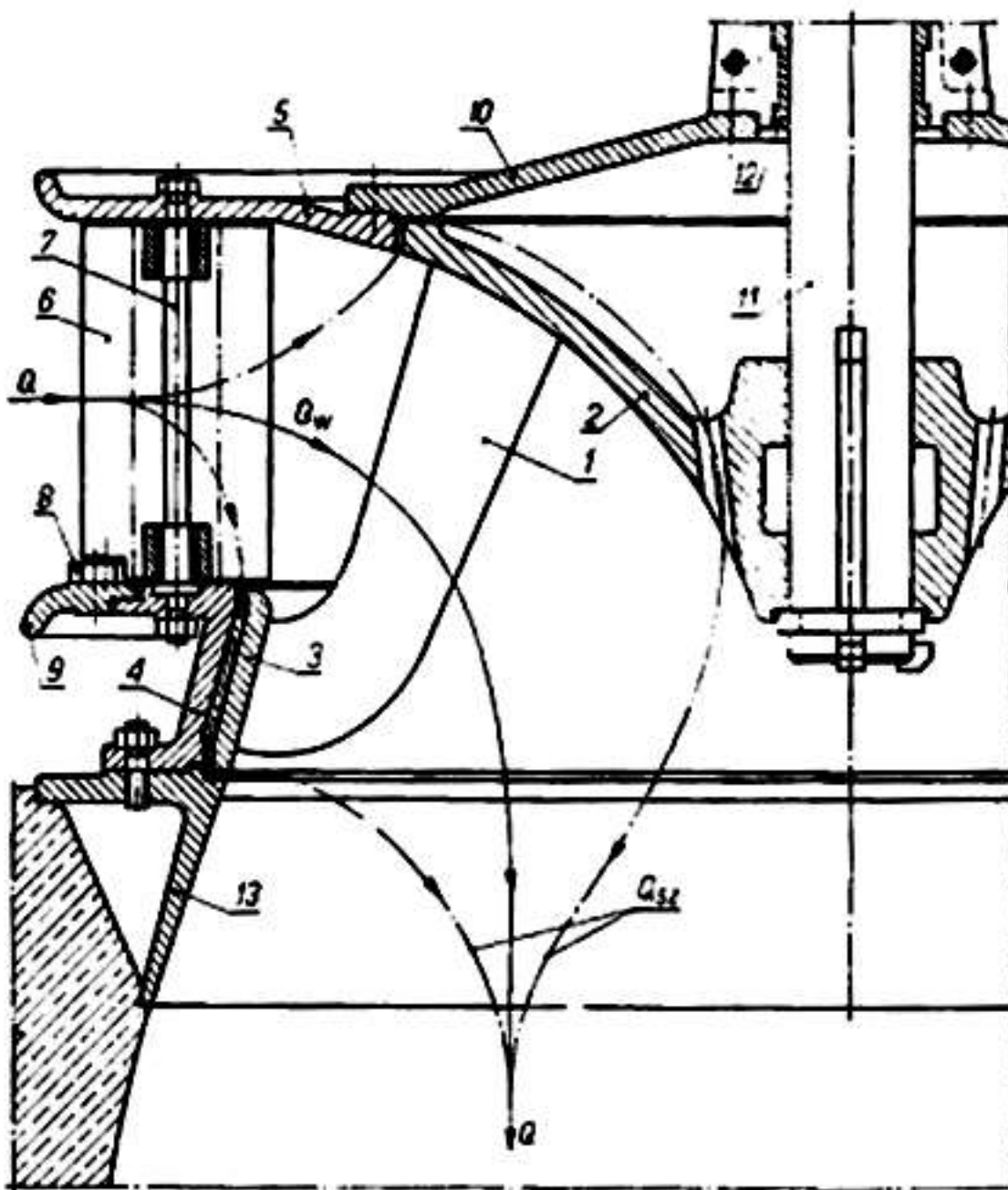
Zastosowanie turbin wielowirnikowych znacznie podwyższa sprawność przy zmiennych obciążeniach, lecz zastępowane są turbinami Kaplana i Deriaza.

Zaletami turbin Francisa jest możliwość zmian w jej budowie, co pozwala na najkorzystniejsze dobrania jej do budowy elektrownie, wyposażenia elektrowni oraz warunków lokalnych.

Wadami turbin Francisa jest częste występowanie niewielkich przecieków na obwodzie wirnika. Aby wyeliminować ten problem stosuje się pierścienie uszczelniające dla turbin



przeznaczonych na niskie spady, większy problem pojawia się w przypadku turbin stosowanych na wysokie spady gdzie straty wywołane nieuszczelnością osiągają do kilku procent przepływu turbiny.



Rys. 4: Fragment wirnika i kierownicy turbiny Francisa o wale pionowym z regulacją wewnętrzną; 1-łopatka wirnika, 2-wieniec wewnętrzny wirnika, 3-wieniec zewnętrzny wirnika, 4-podstawa kierownicy, 5-pokrywa kierownicy, 6-łopatka kierownicza, 7-sworzeź odległościowy, 8-łącznik, 9-pierścień regulacyjny, 10-pokrywa turbiny, 11-wał turbiny, 12-łożysko (prowadzące) poprzeczne, 13-pierścień fundamentowy.

## 2. Obsługa stanowiska

---

### 2.1. Wskazówki ogólne

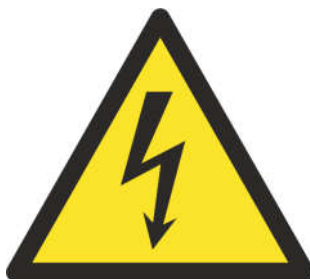
1. Należy zapoznać się ze schematem technologicznym stanowiska, jego rzeczywistą budową oraz rolą jego poszczególnych elementów.
2. Stanowisko należy użytkować jedynie przy zablokowanych kółkach.
3. Nie wolno stawać na konstrukcji profilowej stanowiska.
4. Nie wolno demontować urządzeń, ich części oraz osłon, ani wykonywać innych czynności zagrażających bezpieczeństwu własnemu oraz innych osób przebywających przy stanowisku.
5. Wszelkie zauważone nieprawidłowości (np. uszkodzenia urządzeń, uszkodzenie izolacji elektrycznej, uszkodzenia osłon, nieszczelności itp.) należy natychmiast zgłaszać osobie prowadzącej zajęcia.
6. Nie wolno zmieniać ustawień roboczych stanowiska bez instruktażu i zezwolenia osoby prowadzącej zajęcia dydaktyczne.

**Ważne!**

**Nie wolno stawać na konstrukcji profilowej stanowiska!**

### 2.2. Bezpieczeństwo pracy z urządzeniami elektrycznymi

1. Zasilanie główne stanowiska: 230 V AC, 50/60 Hz:  
2 niezależne wtyki zasilające – konsola sterująca, szafa sterownicza.
2. Zasilanie stanowiska należy włączyć łącznikiem głównym na elewacji stanowiska.
3. Urządzenia elektryczne oznaczono symbolem:



4. Należy przestrzegać ogólnych przepisów użytkowania instalacji oraz szczegółowych zaleceń eksploatacyjnych urządzeń elektrycznych i elektronicznych.

5. Napięcie bezpieczne (robocze i dotyku) w zależności od warunków środowiskowych wynosi:
  - a) dla prądu przemiennego:
    - 50 V (pomieszczenia suche),
    - 25 V (pomieszczenia mokre i gorące);
  - b) dla prądu stałego:
    - 120 V (pomieszczenia suche),
    - 60 V (pomieszczenia mokre i gorące).
6. Skutki oddziaływania prądu przemiennego na człowieka:
  - $I > 25$  mA – początek skurczów mięśni;
  - $I > 70$  mA – początek migotania komórek sercowych;
  - $I > 200$  mA – migotanie komórek serca (skurcz mięśni sercowych – ograniczenie krążenia krwi);
  - $I > 3$  A – paraliż i zatrzymanie pracy serca;
  - $I > 5$  A – zwęglenie tkanek organizmu.
7. **Osobie, która uległa porażeniu prądem elektrycznym, należy bezzwłocznie udzielić pierwszej pomocy!**

### **2.3. Zespół doprowadzenia wody**

- 1 Przed rozpoczęciem pracy należy napełnić wodą zbiornik.
  - 1.1 Zalecany poziom wody w zbiorniku wynosi:  $\frac{3}{4}$  wysokości zbiornika
  - 1.2 Minimalny poziom wody w zbiorniku wynosi:  $\frac{1}{2}$  wysokości zbiornika
  - 1.3 Nie wolno prowadzić eksperymentów przy opróżnionym zbiorniku zasilającym. Nieprzestrzeganie tej zasady grozi uszkodzeniem pompy (suchobieg)

#### **Ważne!**

**Nie wolno prowadzić eksperymentów przy opróżnionym zbiorniku zasilającym!**

### **2.4. Oprogramowanie**

1. Do pracy na stanowisku MD-217L-2 wymagane jest oprogramowanie MD-Lab217L-2.
2. Do stanowiska MD-217L-2 **nie wolno podłączać innego oprogramowania** niż MD-Lab217L-2. Niespełnienie tego warunku grozi uszkodzeniem stanowiska.

3. Wymagania sprzętowe: komputer klasy PC z systemem operacyjnym Windows 7 lub nowszym, monitor o rozdzielczości min. 1600 x 900.
4. Wymagania pozostałe: zainstalowane bezpłatne środowisko uruchomieniowe *LabVIEW Run-Time Engine* oraz *NI-VISA Run-Time Engine*, dostarczone razem ze stanowiskiem (oprogramowanie jest także dostępne do pobrania na stronie producenta: <http://www.ni.com>).

**Ważne!**

**Do stanowiska MD-217L-2 nie wolno podłączać oprogramowania innego niż MD-Lab217L-2.**

## **2.5. Konserwacja i przechowywanie stanowiska**

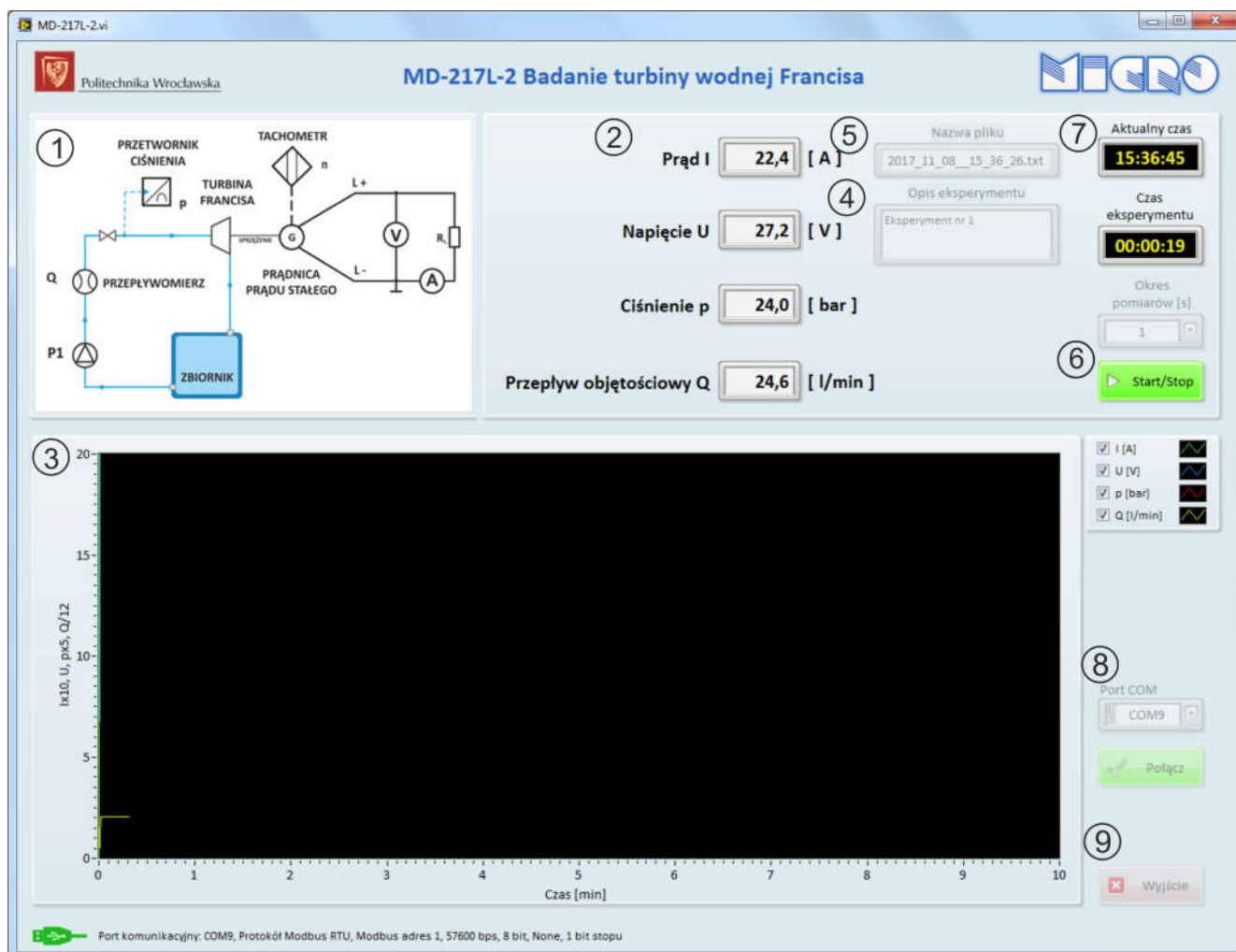
1. Stanowisko należy przechowywać i użytkować w pomieszczeniu zamkniętym.
2. Stanowisko jest wyposażone w kółka z blokadą – należy pamiętać, aby podczas ćwiczeń kółka były zablokowane.
3. Konstrukcję stanowiska czyścić delikatnie zwilżoną szmatką/gąbką lub przedmuchiwać sprężonym powietrzem.
4. Zbiorniki i instalację należy czyścić czystą wodą .
5. W okresie bez zajęć dydaktycznych należy przechowywać stanowisko z opróżnionymi zbiornikami. Przed ponownym użyciem należy kilkakrotnie przepłukać instalację i zbiorniki czystą wodą.

**Ważne!**

**Nieprzestrzeganie zaleceń omówionych w punktach 2.1. - 2.5. grozi uszkodzeniem stanowiska!**

## 3. Oprogramowanie MD-217L-2

### 3.1. Opis interfejsu



Rys. 5: Okno startowe programu MD-Lab217L-2

Lp.	Nazwa	Opis
1.	<b>Schemat</b>	Schemat technologiczny stanowiska
2.	<b>Pomiary</b>	Prezentacja liczbowa danych pomiarowych ze stanowiska
3.	<b>Wykres i legenda</b>	Graficzna prezentacja danych pomiarowych
4.	<b>Opis eksperymentu</b>	Umożliwia dodanie komentarza użytkownika do pliku z danymi pomiarowymi
5.	<b>Nazwa pliku</b>	Nazwa pliku-generowana automatycznie-zawiera datę i godzinę
6.	<b>Przycisk Start/Stop</b>	Rozpoczęcie/zakończenie pomiaru

7.	<b>Czas eksperymentu, aktualny czas, okres pomiarów</b>	Informacje o czasie trwania eksperymentu i okresie próbkowania
8.	<b>Ustawienia komunikacji</b>	Opcje wyboru portu COM
9.	<b>Przycisk Wyjście</b>	Zamyka program.

### 3.2. Uruchomienie programu

1. Uruchomić aplikację MD-Lab 217L-2.
2. Wybrać odpowiedni **port COM** (Rys. 6), a następnie nawiązać połączenie ze stanowiskiem używając przycisku **Połącz** (Rys. 7).



Rys. 6: Wybór portu COM



Rys. 7: Przycisk Połącz

## 4. Ćwiczenia - Pomiar charakterystyk zespołu turbiny przy stałym zasilaniu

---

### 4.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie zachowania zespołu: turbiny Francisa z generatorem przy zmiennym obciążeniu, a stałym zasilaniu turbiny (stałym przepływie).

Podczas ćwiczenia pompa będzie pracowała ze stałą wydajnością, a zawór regulacyjny będzie w stałej pozycji.

Podczas pracy zmieniane będzie obciążenie generatora – od minimalnego (rozwarcie) do maksymalnego (zwarcie).

Na podstawie zarejestrowanych danych wyznaczone zostaną charakterystyki mocy i sprawności w funkcji wartości obciążenia. Ponadto zostanie określony punkt mocy maksymalnej.

Przeprowadzając pomiary w kilku seriach o zmiennych warunkach pracy (inne zasilanie), można śledzić zmiany charakterystyk oraz uzyskiwanej mocy maksymalnej.

### 4.2. Program ćwiczenia

1. Należy zbudować odpowiedni układ pomiarowy – do wyprowadzeń bananowych stanowiska podłączyć odpowiednie obciążenie elektryczne. Jak będzie realizowana praca bez obciążenia ( $R \rightarrow \infty$ ) oraz z maksymalnym obciążeniem ( $R \rightarrow 0$ )?
2. Należy włączyć program do obsługi stanowiska i nawiązać połączenie.
3. Należy włączyć otworzyć zawór i włączyć pompę.
4. Następnie należy ustalić punkt pracy pompy – ustawić wydajność pompy oraz dławienie na zaworze. Na przykład: pompę ustawić na maksymalną wydajność, zaworem ograniczyć przepływ do 50% wartości maksymalnej.
5. Zapisać w karcie pomiarowej ciśnienie oraz przepływ w przyjętym punkcie pracy.
6. Zmierzyć i zapisać w karcie pomiarowej parametry elektryczne bez obciążenia.
7. Wprowadzić obciążenie i stopniowo zwiększając jego wartość zapisywać w karcie pomiarowej parametry elektryczne.
8. Zmierzyć i zapisać w karcie pomiarowej parametry elektryczne przy maksymalnym obciążeniu.
9. Wyłączyć obciążenie i wyłączyć pompę.

### 4.3. Opracowanie wyników:

1. Jeśli zostało zapisane inaczej, to należy wyrazić zapisane wartości w jednostkach SI: ciśnienie w paskalach, przepływ objętościowy w metrach sześciennych na sekundę, napięcie w woltach, prąd w amperach.
2. Na podstawie uzyskanych danych pomiarowych obliczyć moc uzyskaną, moc dostarczoną oraz sprawność układu.
3. Wykreślić charakterystyki mocy i sprawności w funkcji wartości obciążenia.
4. Sformułować wnioski.
5. Przykład tabeli pomiarowej

Wielkość	Symbol	Jednostka	1	2	3	4	5	6	7
Ciśnienie przed dyszą (wzgl. atm)	$p$	bar							
		Pa							
Przepływ objętościowy	$Q_V$	$\frac{l}{min}$							
		$\frac{m^3}{s}$							
Napięcie generatora	$U$	$V$							
Prąd generatora	$I$	$A$							
Obciążenie	$R$	$\Omega$							
Moc uzyskana	$P_G = U I$	$W$							
Moc dostarczona	$P_P = p Q_V$	$W$							
Sprawność układu	$\eta = \frac{P_G}{P_P}$	%							