

# ***TD200***

***Jednostka podstawowa  
mała dla modułów  
laboratorium: Silniki***

## ***Instrukcja Obsługi***




**© TecQuipment Ltd 2015**

Zabronionym jest powielanie i przekazywanie tego dokumentu niezależnie od formy i środka przekazu, elektronicznej lub mechanicznej, z uwzględnieniem fotokopii, nagrań i wszystkich innych form przechowywania i przekazywania informacji bez wyraźnej zgody TecQuipment Limited.

Firma TecQuipment dołożyła wszelkich starań, aby zawarte w niniejszej instrukcji informacje były możliwie kompletne i aktualne. Jednak, jeśli użytkownik dostrzeże jakiś błąd, proszony jest o przekazanie takiej informacji producentowi, aby możliwym było zweryfikowanie problemu.

Firma TecQuipment wraz z dostarczonym urządzeniem dołącza Listę Zawartości Opakowania (Packing Contents List – PCL). Należy dokładnie sprawdzić zawartość przesyłki/przesyłek i zweryfikować ją z listą. Jeśli którego z elementów brakuje lub został on uszkodzony, zalecany jest kontakt z firmą TecQuipment lub lokalnym dystrybutorem.

***Symbole użyte w instrukcji***

Uwaga 	<i>Ważna informacja</i>
UWAGA 	<i>Nieprzestrzeganie tej uwagi może spowodować uszkodzenie urządzenia, innych elementów instalacji lub może mieć negatywny wpływ na środowisko.</i>
UWAGA! 	<b><i>Nieprzestrzeganie tej uwagi może spowodować powstanie niebezpieczeństwa dla zdrowia lub życia</i></b>

# Spis treści

<b>Wstęp .....</b>	<b>1</b>
<b>Opis urządzenia .....</b>	<b>3</b>
Podstawa stanowiska z dynamometrem .....	3
Rama aparatury pomiarowej .....	4
Moduły pomiarowe .....	5
Analizator cyklu pracy silnika – ECA100 (wyposażenie opcjonalne) .....	7
System Akwizycji Danych – VDAS (wyposażenie opcjonalne) .....	7
Opcjonalne moduły silników testowych wraz ze zbiornikami paliwa .....	8
Opcjonalny kalorymetr do spalin (TDX00a) .....	9
<b>Specyfikacja Techniczna .....</b>	<b>11</b>
Podstawa stanowiska i Rama aparatury pomiarowej .....	11
Aparatura pomiarowa .....	11
TDX00a Opcjonalny kalorymetr do spalin .....	12
Właściwości paliw .....	12
Poziom hałasu .....	12
<b>Instalacja i montaż .....</b>	<b>13</b>
Uwagi związane z umiejscowieniem i układem .....	13
Montaż i usytuowanie .....	15
Rurka pomiaru ciśnienia .....	20
Połączenia elektryczne .....	21
Podstawowa instrukcja montażu silnika testowego (dot. Silników dostarczonych przez firmę TecQuipment)” .....	22
<b>Przydatne zagadnienia teoretyczne, równania i uwagi dotyczące eksperymentów na silnikach .....</b>	<b>31</b>
Oznaczenia .....	31
Natężenie przepływu masowe i objętościowe .....	31
Zużycie powietrza .....	32
Zużycie paliwa .....	32
Stężenie mieszanki powietrzno-paliwowej .....	32
Sprawność objętościowa .....	32
Energia spalania paliwa i entalpia powietrza .....	34
Sprawność cieplna .....	34
Średnie ciśnienie użyteczne (ang. Brake Mean Effective Pressure (BMEP)) .....	35
Metoda Willans Line do określenia strat tarcia w silniku .....	35
Przydatne informacje dotyczące małych silników i ich testów .....	36

<b>Przeprowadzanie eksperymentów.....</b>	<b>39</b>
<i>Bezpieczeństwo .....</i>	<i>39</i>
Pomocne uwagi.....	39
Eksperyment 1 – Wydajność silnika .....	39
Eksperyment 2 – Metoda Willans Line (Stała prędkość obrotowa) .....	41
Wyłączanie urządzenia .....	42
Wyniki eksperymentów.....	43
Eksperyment 3 – Bilans energetyczny.....	44
Dalsze eksperymenty z wykorzystaniem kalorymetru .....	46
 <b>Przydatna literatura .....</b>	 <b>47</b>
 <b>Konserwacja .....</b>	 <b>49</b>
Ogólna .....	49
Elektryczna.....	51
 <b>Części zamienne i obsługa klienta.....</b>	 <b>53</b>
Obsługa klienta .....	53



# TD200

**Jednostka podstawowa  
mała dla modułów  
laboratorium: Silniki**

## **Instrukcja Obsługi**

### **Wstęp**



*Rys. 1 TD200 Jednostka podstawowa mała dla modułów laboratorium: Silniki (komputer, biurko i system akwizycji danych VDAS nie stanowią wyposażenia standardowego)*



**Produkt kompatybilny z systemem  
akwizycji danych VDAS**

Jednostka podstawowa mała dla modułów laboratorium: Silniki TD200 stanowi uniwersalny zestaw, w którego skład wchodzi aparatura pomiarowa umożliwiające przeprowadzanie eksperymentów na małych silnikach jednocylindrowych spotykanych w kosiarkach, generatorach energii elektrycznej, pompach i innych maszynach rolniczych.

Przy wykorzystaniu wraz z jednym z opcjonalnych modułów eksperymentalnych silników jednocylindrowych firmy TecQuipment, umożliwia studentom poznanie najważniejszych aspektów pracy silników, w tym zdobycie wiedzy o obiegu termodynamicznym i charakterystykach pracy.

W celu obciążania silników, jednostka podstawowa została wyposażona w prosty w obsłudze dynamometr hydrauliczny. Do jego funkcjonowania nie wykorzystuje się zasilania o dużej mocy, czy odpowiednio dużych rezystorów, gdyż energia wytwarzana przez silnik przekazywana jest do wody, która przepływa przez dynamometr.

Stanowisko jest w pełni kompatybilne z Systemem Akwizycji Danych firmy TecQuipment (VDAS), dostępnym jako wyposażenie opcjonalne. Wykorzystanie systemu VDAS umożliwia wykonanie dokładnych pomiarów w czasie rzeczywistym. Dane wyświetlane są na ekranie komputera, a oprogramowanie umożliwia również wykonywanie obliczeń i rysowanie wykresów. Dzięki temu przeprowadzanie eksperymentów przebiega sprawnie, a wyniki nie są obciążone niedokładnością odczytu przez operatora.

Użytkownik może wykorzystać do badań własny silnik badawczy lub wykorzystać jeden z modułów (silników) firmy TecQuipment (zob. „**Opcjonalne silniki eksperymentalne i zbiorniki paliwa**” na stronie 8).

UWAGA



*Przy wykorzystywaniu silników spoza oferty firmy TecQuipment, należy pamiętać o zachowaniu parametrów opisanych w niniejszej instrukcji.*

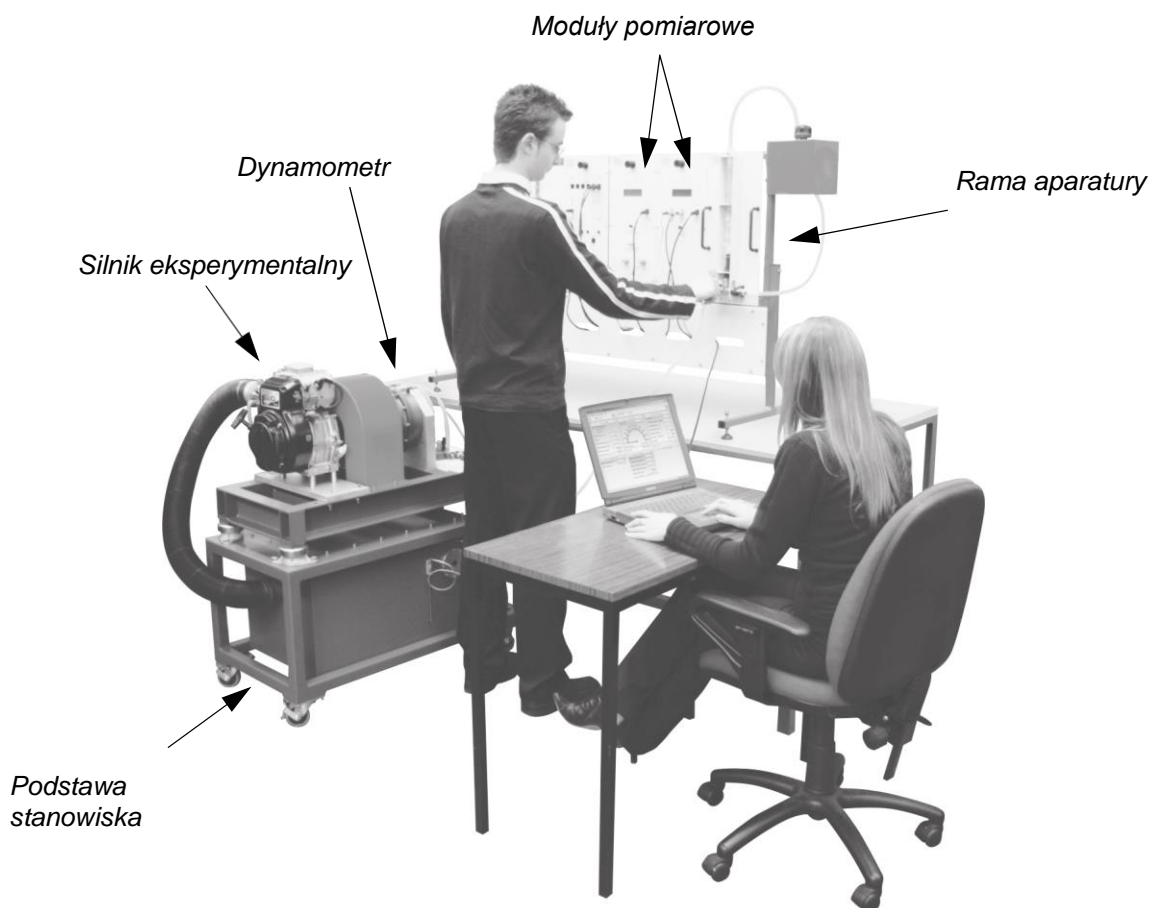
W niniejszej instrukcji zawarte jest wyjaśnienie podstawowych zagadnień teoretycznych oraz informacje na temat obsługi samego stanowiska i dołączonego wyposażenia. Przykładowe wyniki pomiarowe i informacje na temat konfiguracji przy przeprowadzaniu eksperymentów zawarto w instrukcjach obsługi modułów silników eksperymentalnych.

W zestawie dołączony jest elastyczny kanał do odprowadzania spalin o długości 2,5 m. Każdy z modułów silników dostarczany jest z adapterem umożliwiającym łatwe połączenie wylotu spalin silnika z jednostką podstawową. Opcjonalnie, ślinik może być podłączony z adapterem posiadanym przez użytkownika, a spaliny wyprowadzone do wyciągu w laboratorium.

# Opis urządzenia

Stanowisko składa się z dwóch głównych części:

1. Rama testowa z dynamometrem
2. Nastawiana na blat rama z aparaturą pomiarową



Rys. 2 Widok ogólny stanowiska TD200 (komputer, VDAS i biurka nie wchodzą w skład zestawu).

## Podstawa stanowiska z dynamometrem

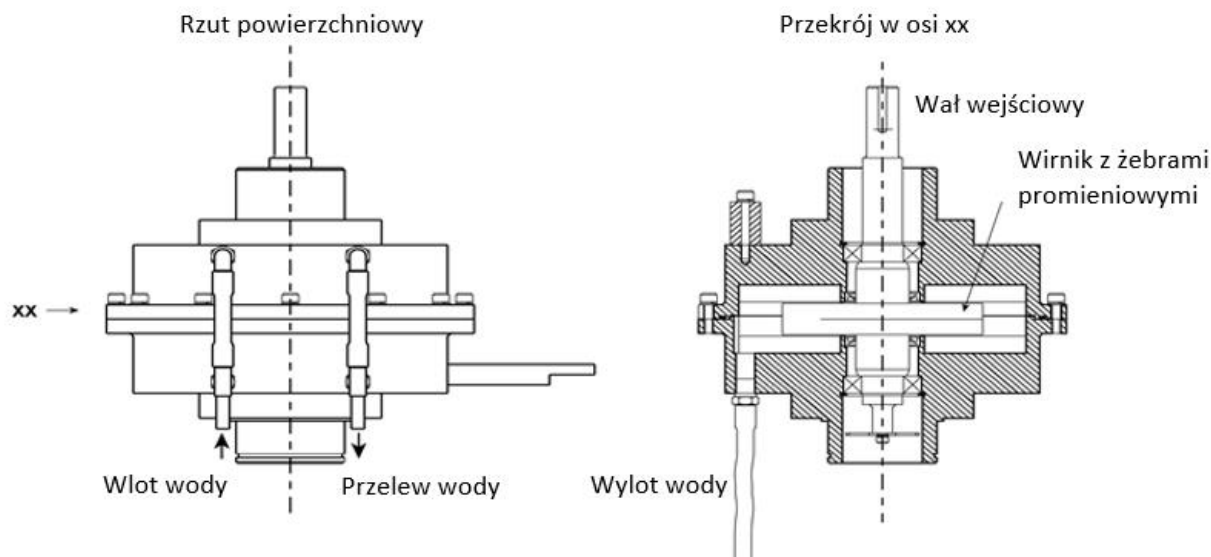
### ***Podstawa stanowiska (stanowisko badawcze)***

Jest to niski wózek na kołach z blokadami wraz z dynamometrem hydraulicznym (z półsprzęgłem) i skrzynką powietrzną z kryzą. W pobliżu kryzy znajduje się termopara typu k i króciec do pomiaru ciśnienia. W takim zestawieniu możliwym jest wyznaczenie przepływu powietrza dostającego się do silnika. Termopara służy do pomiaru temperatury otoczenia. Skrzynka powietrzna tłumi pulsowanie powietrza na wlocie, a na jej spodzie znajduje się wrażliwy na ciśnienie „panel nadmuchowy”. Panel jest komponentem zabezpieczającym. Przedziorawia się on w bardzo mało prawdopodobnym przypadku problemów z ciśnieniem wlotowym, na przykład przy niepełnym spalaniu paliwa.

Moduły silników testowych nakładane są na podstawę stanowiska w osi dynamometru i połączone są z jego wałem za pośrednictwem sprzęgła półpodatnego (semi-flexible coupling) zamkniętego w obudowie ochronnej.

Każdy z silników testowych firmy TecQuipment dostarczany jest fabrycznie zamontowany na płycie z kołkami i szczelinami, które ułatwiają precyzyjne i pewne ułożenie silnika na podstawie stanowiska badawczego TD200 w powtarzalny sposób. Jest to duże udogodnienie przy potrzebie częstszego demontowania silnika ze stanowiska w celu na przykład przeprowadzania eksperymentów na różnych modelach silników.

## ***Dynamometr Hydrauliczny***



*Rys. 3 Rzut powierzchniowy i przekrój dynamometru*

Do podstawy stanowiska zamontowany jest dynamometr hydrauliczny, który generuje obciążenie proporcjonalne do natężenia przepływu wody i poziomu wody w jego obudowie. Natężenie przepływu i poziom wody jest regulowany za pomocą precyzyjnego zaworu iglicowego. Moment obrotowy mierzony jest za pośrednictwem elektronicznego miernika obciążenia znajdującego się obok dynamometru. Czujnik zbliżeniowy mierzy prędkość obrotową dynamometru.

Dynamometr hydrauliczny jest prostym, ale skutecznym rozwiązaniem do obciążenia testowanego silnika. Na jego konstrukcję składają się dwie obudowy z wewnętrznymi żebrami promieniowymi. Wirnik z żebrami promieniowymi po obu stronach przymocowany jest do wału, który obraca się wewnątrz dynamometru. Dynamometr jest zamontowany w łożyskach wahlowych, aby umożliwić obudowie reakcję na oddziaływanie czujnika tensometrycznego. Woda dostarczana jest u góry dynamometru za pośrednictwem regulowanego zaworu iglicowego i odprowadzana przez dren w dolnej części obudowy. Przelew daje możliwość ujęcia powietrza i nadmiarowi wody.

Podczas gdy wał jest obracany przez silnik, żebra w obudowie i na wirniku wzburzają wodę. Generowany rezystancyjny moment obrotowy mierzony jest przez czujnik obciążenia. Wartość oporu zmienia się poprzez regulację natężenia przepływu wody, a co za tym idzie i poziomu wody w obudowie. Ciepło powstałe w wyniku wzburzenia wody jest rozpraszane w wyniku ciągłego przepływu wody przez dynamometr. Sterowanie dynamometrem odbywa się pośrednio za pomocą zaworu iglicowego (system z otwartą pętlą). Mimo, że regulacja obciążenia jest systemem z pętlą otwartą, prędkość obrotowa utrzymywana jest w granicy  $\pm 100$  obr/min. Taka dokładność jest nawet większa niż potrzebna do przeprowadzania eksperymentów na silnikach.

## **Rama Aparatury Pomiarowej**

Moduły pomiarowe jednostki podstawowej do przeprowadzania eksperymentów na silnikach TD200 montowane są na oddzielnej ramie. Rama zasilana jest z gniazda IEC i umożliwia podłączenie do niej kilku przyrządów pomiarowych (niektóre moduły wchodzą w skład standardowego wyposażenia stanowiska, a inne są opcjonalne).

Aparatura i stanowisko badawcze stanowią oddzielne moduły, w celu odizolowania przyrządów pomiarowych od drgań generowanych przez silnik.



Z tyłu ramy poprowadzone są dwa oddzielne korytka kablowe, jedno dla kabli zasilających, drugie dla przewodów sygnałowych. W korytkach wykonane są odpowiednie wyprowadzenia w celu łatwiejszego poprowadzenia przewodów.

Z prawej strony ramy aparatury pomiarowej znajdują się otwory montażowe do zbiornika paliwa dostarczonego wraz z modułami silników.



**UWAGA!**

*Pod żadnym pozorem nie należy prowadzić przewodów z paliwem przez korytka kablowe lub gniazda ramy montażowej. Grozi pożarem!*

## Moduły pomiarowe

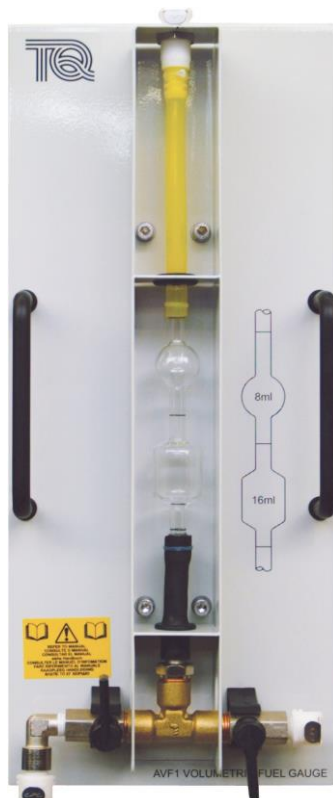
### ***Wyświetlacz momentu obrotowego i prędkości obrotowej - DTS2***

Moduł wyświetlający wartość momentu obrotowego zmierzonego przez dynamometr i prędkości obrotowej obliczonej w wyniku sygnału wysyłanego przez czujnik optyczny (ilość impulsów względem czasu). Moc obliczana jest na podstawie wartości prędkości obrotowej i momentu obrotowego.

### ***Wyświetlacz natężenia przepływu powietrza wlotowego do silnika i wylotowego - DPT1***

Moduł wyświetla ciśnienie (barometryczne) i temperaturę otoczenia oraz ciśnienie wewnątrz skrzynki powietrznej. Natężenie przepływu powietrza wlotowego jest obliczane z wykorzystaniem wymiarów kryzy wewnątrz skrzynki powietrznej oraz różnicy ciśnień otoczenia i wewnątrz skrzynki ( $\Delta p$ ).

## **Manualny objętościowy miernik zużycia paliwa - AVF1 lub Automatyczny objętościowy miernik zużycia paliwa - DVF1 (wyposażenie opcjonalne)**



*Rys. 4 Manualny objętościowy miernik zużycia paliwa (AVF1)*

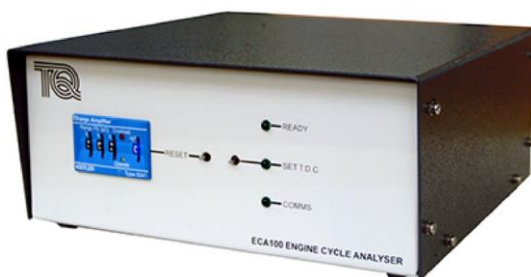
Do pomiaru natężenia przepływu paliwa dostarczanego do jednostki podstawowej TD200 można wykorzystać dwa przyrządy, oba bazują na objętościowej metodzie pomiaru. Pierwszym rozwiązaniem jest przyrząd AVF1 (zob. rys. 4), manualnie obsługiwana pipeta paliwowa, do pomiaru za pomocą, której wymagany jest również stoper (nie dostarczany). Drugim rozwiązaniem jest przyrząd DVF1, w którym zastosowano identyczną pipetę, natomiast pomiar odbywa się za pośrednictwem czujnika optycznego. Na wyposażeniu znajduje się również moduł do przesłania cyfrowego sygnału z informacją o natężeniu przepływu do systemu akwizycji danych VDAS firmy TecQuipment. Wszystkie ilustracje i procedury opisane w tej instrukcji bazują na wykorzystaniu miernika AVF1, czyli wersji podstawowej. Obsługa miernika cyfrowego DVF1 opisana jest w oddzielnej instrukcji dołączonej do tego przyrządu.

Uwaga



*Oprogramowanie systemu akwizycji danych VDAS umożliwia manualne wprowadzenie danych zużycia paliwa przy wykorzystywaniu miernika AVF1 i automatycznie odczytuje tę wartość z sygnału przesyłanego z miernika DVF1.*

## Analizator cyklu pracy silnika - ECA100 (wyposażenie opcjonalne)



Rys. 5 Analizator cyklu pracy silnika ECA100

Analizator cyklu pracy silnika (ECA100) wykorzystywany jest wraz z specjalnie zmodyfikowanymi silnikami testowymi, w których zainstalować można czujnik ciśnienia głowicy cylindra i przyrząd do pomiaru kąta obrotu wału korbowego. Jest to dwuczęściowy produkt, który składa się z:

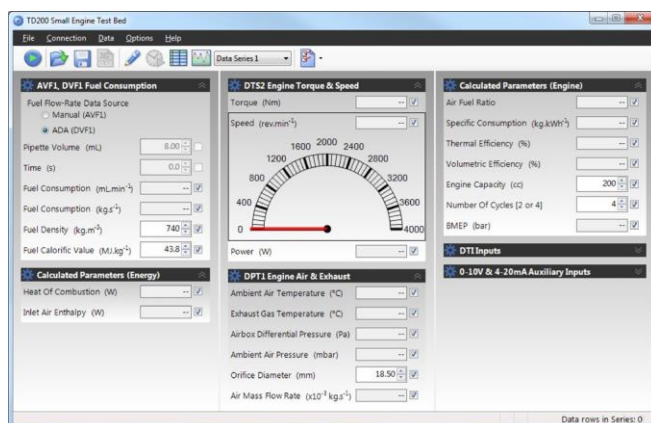
- Urządzenie (interfejs) ze wzmacniaczem ładunku (sygnału) i obwodami kondycjonującymi sygnały.
- Dedykowane oprogramowanie, zbierające dane, obliczające wartość średniego ciśnienia indykowanego (IMEP, Indicated Mean Effective Pressure) i wyrysowujące wykresy ciśnienia względem kąta obrotu wału korbowego (P- $\theta$ ) i ciśnienia względem objętości (P-V).



Uwaga

Analizator ECA100 może być używany jedynie z odpowiednio zmodyfikowanymi silnikami testowymi wraz z czujnikiem ciśnienia głowicy cylindra i przyrządem do pomiaru kąta obrotu wału korbowego.

## System Akwizycji Danych - VDAS (wyposażenie opcjonalne)



Rys. 6 System Akwizycji Danych – oprogramowanie i moduł do montażu na ramie

Firma TecQuipment oferuje system akwizycji danych VDAS, który może być użytkowany wraz z jednostką podstawową do eksperymentów na silnikach TD200 i jej aparaturą pomiarową.

System akwizycji danych VDAS składa się z dwóch części (modułu pomiarowego i oprogramowania) i pozwala użytkownikowi:

- Ograniczyć błędy pomiarowe
- Skrócić czas przeprowadzanych eksperymentów
- Zapisać wyniki pomiarów na odpowiednim komputerze (nie wchodzi w skład dostawy)
- Automatycznie obliczyć najważniejsze wartości
- Wygenerować wysokiej jakości wykresy z wynikami oraz eksport danych do arkusza kalkulacyjnego (nie wchodzi w skład dostawy), w celu dalszej ich analizy

## Opcjonalne moduły silników testowych wraz ze zbiornikami paliwa



Rys. 7 Moduł czterosuwowego silnika benzynowego (TD201)

Firma TecQuipment oferuje różnego rodzaju silniki do użytku wraz z jednostką TD200 (Rysunek 7 pokazuje moduł silnika TD201). Dostarczane są wraz z solidną płytą/podstawą montażową, kompletem adaptera spalin, termoparą do pomiaru temperatury spalin, sprzęgłem, zbiornikiem paliwa w odpowiednim kolorze oraz węzami. Istnieje możliwość zamówienia silników testowych w zmodyfikowanej wersji (zmodyfikowana głowica cylindra i wał korbowy) w celu podłączenia ich do analizatora cyklu pracy silnika ECA100 (zob. podrozdział „**Analizator cyklu pracy silnika - ECA100 (wyposażenie opcjonalne)**” na stronie 7).

Przy wykorzystywaniu silników testowych nie dostarczonych przez firmę TecQuipment, możliwym jest zamówienie zestawu komponentów zawierającego węże, pustą płytę montażową, zbiornik paliwa i sprzęgło, umożliwiającego montaż silnika na jednostce podstawowej. W celu zdobycia większej ilości informacji skontaktuj się z firmą TecQuipment.

Zbiorniki paliwa dołączone do silników są oznaczone kolorami w celu ułatwienia korzystania i ze względów bezpieczeństwa.

Czerwony zbiornik = benzyna

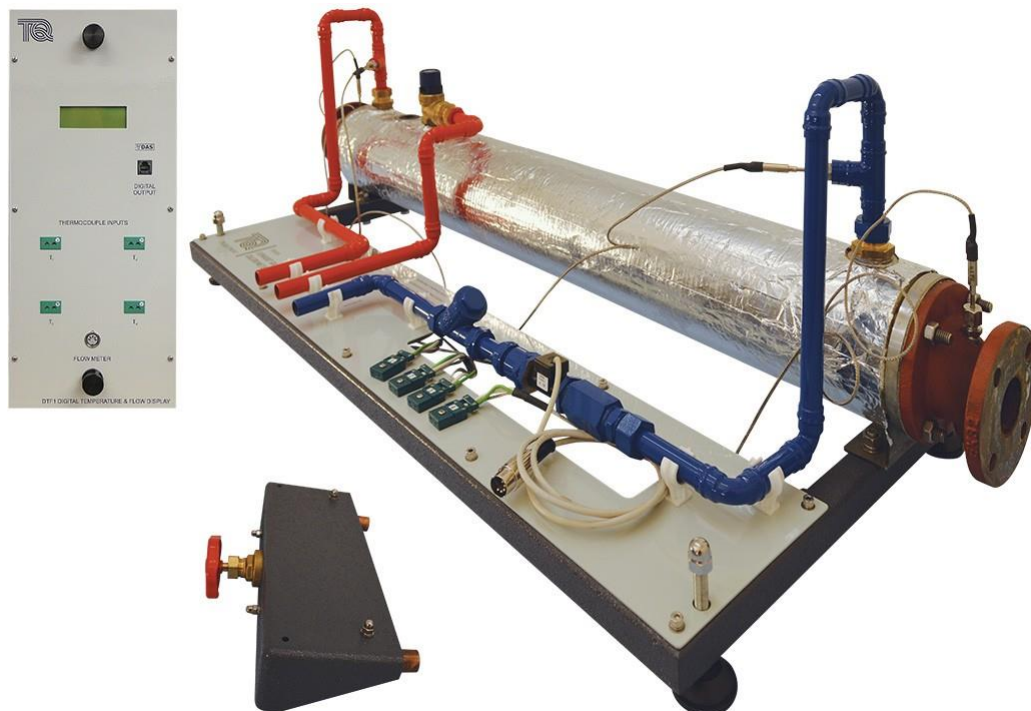
Karmelowy (jasno brązowy) zbiornik = olej napędowy

Oferta silników testowych firmy TecQuipment:

Kod towarowy	Nazwa
TD201	Moduł czterosuwowego silnika benzynowego
TD202	Moduł czterosuwowego silnika o zapłonie samoczynnym (Diesla)
TD211	Moduł czterosuwowego silnika benzynowego ze zmodyfikowaną głowicą cylindra i korba
TD212	Moduł czterosuwowego silnika o zapłonie samoczynnym (Diesla) ze zmodyfikowaną głowicą cylindra i korba

Tabela 1 Oferta silników testowych firmy TecQuipment

## Opcjonalny Kalorymetr do spalin (TDX00a)



Rys. 8 Kalorymetr do spalin (TDX00a) (pokazany z zaworem wodnym i jednostką sterującą)

Jest to gazowo-wodny przeciwprowodowy wymiennik ciepła o wymiarach dopasowanych do mocy silników testowych. Wyposażony jest w przepływomierz do pomiaru natężenia przepływu wody chłodzącej spaliny oraz termopary mierzące zarówno temperaturę spalin, jak i wody. Kalorymetr stosowany jest w celu zmierzenia ciepła procesu spalania traconego w spalinach, co jest niezbędne do obliczenia bilansu energetycznego badanego silnika.

Urządzenie musi być zasilane czystą wodą. Woda zanieczyszczona lub o wysokim stężeniu minerałów powoduje stopniowe niszczenie rurociągu kalorymetru i czujnika przepływu. Urządzenie wyposażono w filtr wody wychytujący cząsteczki zanieczyszczeń np. kamienia. Więcej informacji na temat zastosowanego filtra znajduje się w sekcji **Konserwacja**.

Obieg wody chłodzącej wyposażony jest w zawór bezpieczeństwa, filtr siatkowy i obieg boczny (bajpas). Niewielkich rozmiarów otwór pod wylotem spalin pozwala na odprowadzenie ewentualnych skroplin.

Firma TecQuipment dostarcza kalorymetr do spalin wraz z modułem z wbudowanym czterokanałowym wyświetlaczem temperatury i natężenia przepływu. Należy go zamontować na ramie aparatury pomiarowej stanowiska TD200. TecQuipment dostarcza również ręcznie sterowany zawór wody chłodzącej, który mocuje się do konsoli zestawu testowego TD200.



# Specyfikacja Techniczna

## Podstawa stanowiska i Rama aparatury pomiarowej

Parametr	Specyfikacja
Warunki użytkowania urządzenia	Wewnątrz budynku (sala laboratoryjna) Wysokość n.p.m. do: 2000 m Kategoria przepięciowa: 2 (według EN61010-1). Stopień zanieczyszczeń 2 (według EN61010-1).
<b>Podstawa stanowiska (z Dynamometrem i osłoną sprzęgła)</b>	
Długość	960 mm
Wysokość	1000 mm
Głębokość	480 mm
Masa netto	110 kg
Zasilanie wody do dynamometru	Stałe ciśnienie Minimum 1 bar Przy przepływie 5 l/min
Maksymalna moc dynamometru	7.5 kW przy 7000 obr/min
<b>Rama aparatury pomiarowej</b>	
Długość	1260 mm
Wysokość	800 mm
Głębokość	520 mm
Masa netto	24.5 kg
Zasilanie	90 VAC do 250 VAC jednofazowe 50 Hz do 60 Hz
Maksymalne natężenie prądu	10 A Maksymalne obciążenie
Zabezpieczenie	20 mm 10 A Typ T

## Aparatura pomiarowa

Parametr	Specyfikacja
<b>Manualny objętościowy miernik zużycia paliwa - AVF1</b>	Masa: 2.5 kg Pojemność paliwa: 8 ml, 16 ml and 24 ml
<b>Wyświetlacz natężenia przepływu powietrza wlotowego do silnika i wylotowego – DPT1</b>	1 x Czujnik różnicy ciśnień 1 x Wbudowany czujnik ciśnienia otoczenia 2 x (niskonapięciowe <25 VDC) Gniazda termopar typu K (Pomiar temperatury powietrza wlotowego i temperatury spalin) 1 x Gniazdo RJ45 do podłączenia VDAS (niskonapięciowe <25 VDC) Zasilanie modułu wyświetlacza: 90 VAC do 250 VAC 50 Hz do 60 Hz 100 mA. F6.3 A Bezpiecznik Masa modułu: 4 kg Wymiary modułu: 190 mm x 125 mm x 450 mm

Parametr	Specyfikacja
<b>Wyświetlacz momentu obrotowego i prędkości obrotowej - DTS2</b>	2 x (niskonapięciowe <25 VDC) Gniazda DIN do odczytu momentu obrotowego i prędkości obrotowej dynamometru 1 x gniazdo RJ45 do podłączenia VDAS (niskonapięciowe <25 VDC) Zasilanie modułu wyświetlacza: 90 VAC do 250 VAC 50 Hz do 60 Hz 100 mA. F6.3 A Bezpiecznik Masa modułu: 4.5 kg Wymiary modułu: 190 mm x 125 mm x 450 mm
<b>Aparatura podstawy stanowiska</b>	Termopara typu K na wlocie powietrza Średnica kryzy: Nominalna 18.5 mm – wartość rzeczywista zaznaczona na przyrządzie Moment obrotowy dynamometru (Czujnik obciążenia) Prędkość obrotowa dynamometru (Czujnik optyczny)

## TDX00a Opcjonalny Kalorymetr do spalin

Parametr	Specyfikacja
<b>Wymiary</b>	
Kalorymetr	930 mm (długość), 300 mm (wysokość), 355 mm (głębokość), 16 kg (masa)
Zawór wody	250 mm (długość), 50 mm (wysokość), 110 mm (głębokość), 1 kg (masa)
MCSS	
Zawór bezpieczeństwa	4 bar
Zasilanie wodą	10 l/min @ 1 bar minimum, 3 bar maximum
<b>Moduł sterujący</b>	
Wymiary	190 mm (szerokość), 450 mm (wysokość), 130 mm (głębokość), 4 kg (masa)
Bezpiecznik	F6.3A
Złącza	4 x gniazdo termopary, 1 x gniazdo przepływomierza
Zasilanie elektryczne	Z konsoli aparatury stanowiska TD200

## Właściwości paliw

Paliwo	Wartość opałowa dolna (MJ/kg)	Stechiometryczny Współczynnik nadmiaru powietrza	Gęstość (kg/l)	Gęstość (kg/m <sup>3</sup> )
Benzyna	43.8	14.6	0.74	740
Diesel	39		0.84	840
Lekki olej opałowy	40.6		0.925	925
Średni olej opałowy	39.9	14.4	0.95	950
Ciężki olej opałowy	39.7		0.965	965

Tabela 2 Właściwości paliw

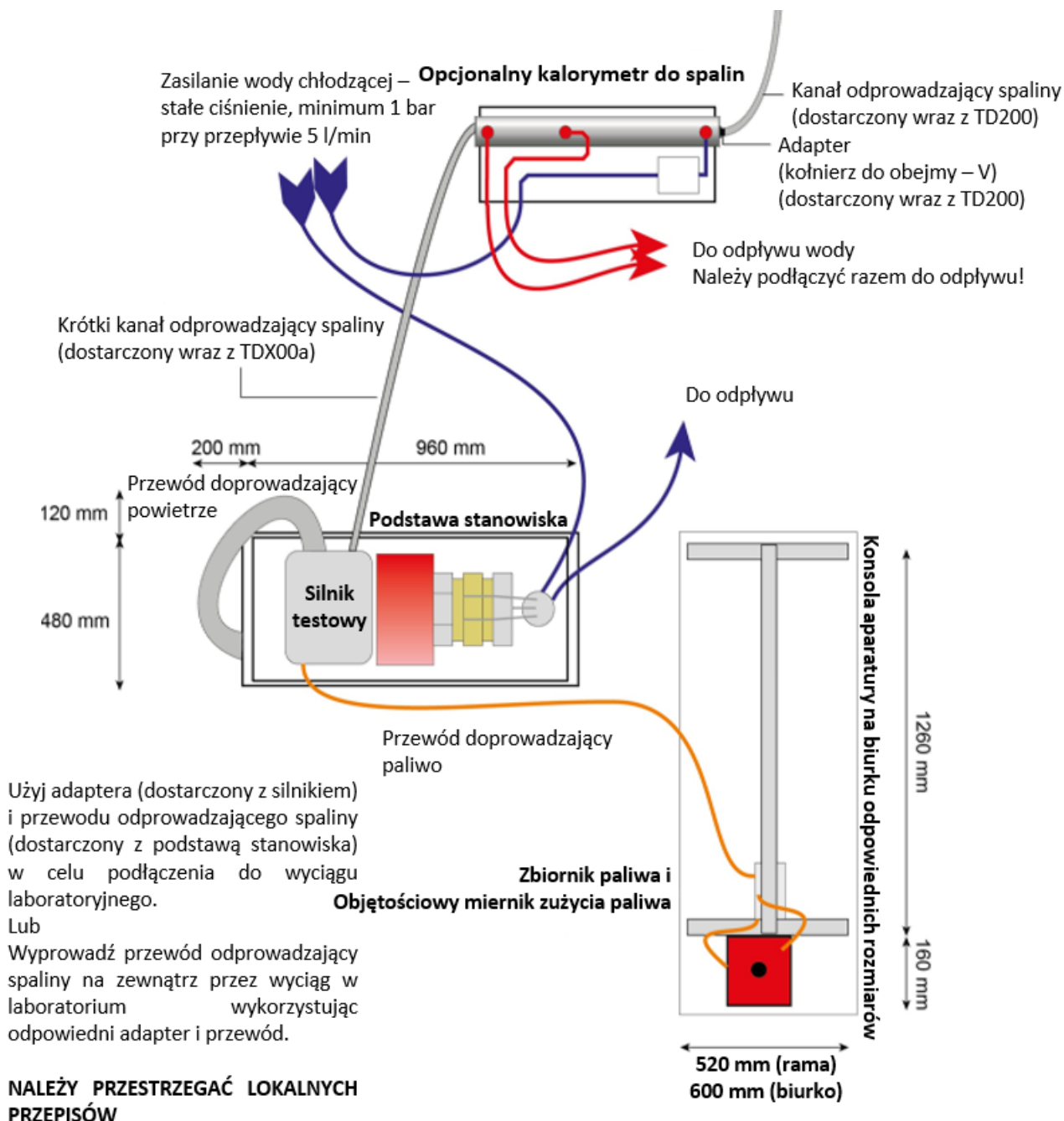
## Poziom hałasu

Określony w instrukcjach obsługi każdego z silników dostarczanych przez firmę TecQuipment.

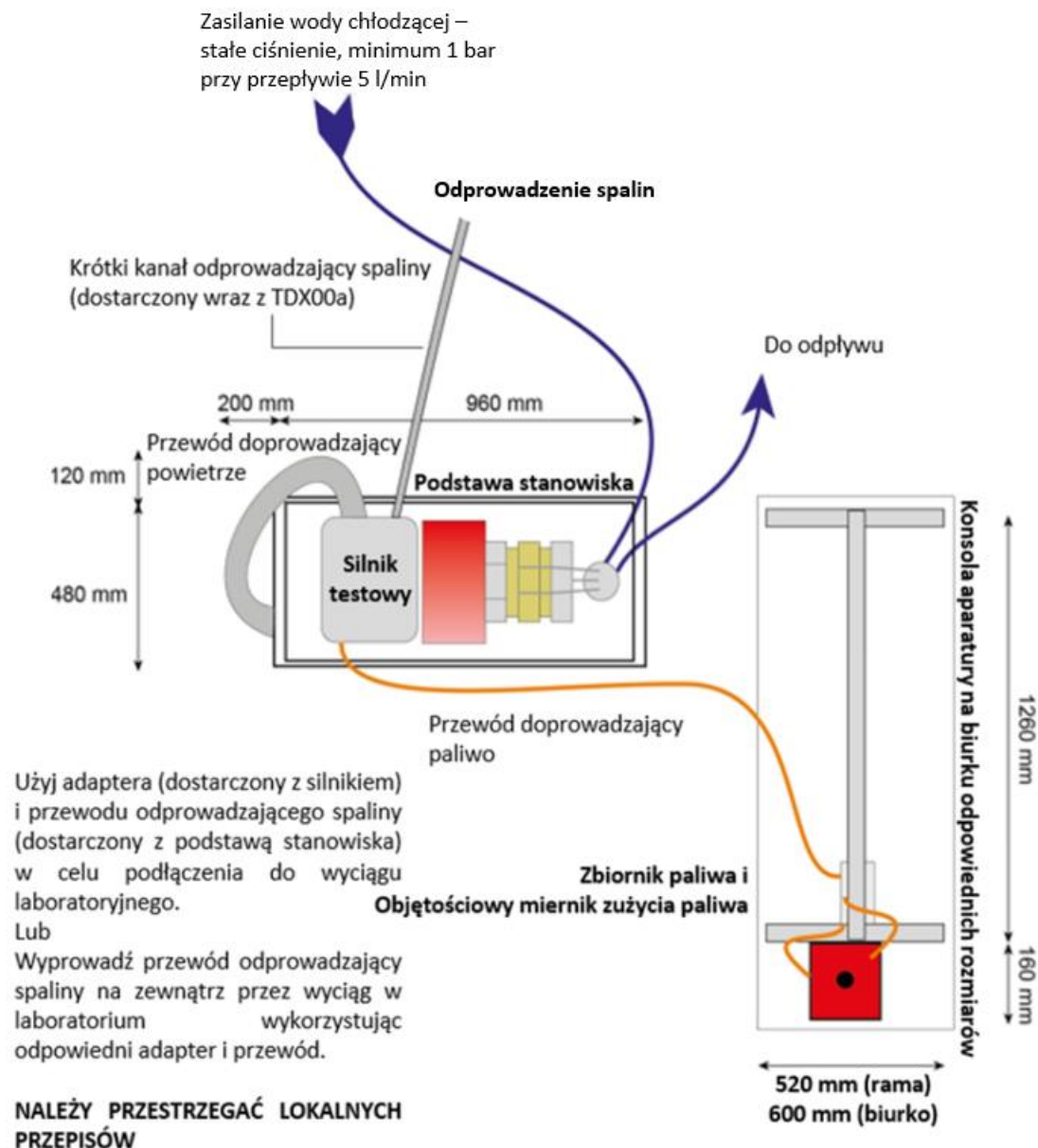


# Instalacja i montaż

## Uwagi związane z umiejscowieniem i układem



Rys. 9 Przykładowy układ rozmieszczenia komponentów oraz połączeń wodnych, paliwowych i odprowadzenia spalin (z kalorymetrem)



Rys. 10 Przykładowy układ rozmieszczenia komponentów oraz połączeń wodnych, paliwowych i odprowadzenia spalin (bez kalorymetru)

1. Stanowisko TD200 zajmuje powierzchnię o wymiarach 1160 mm x 600 mm (z przewodem doprowadzającym powietrze) i ma 1000 mm wysokości (licząc bez silnika testowego).  
Z zamontowanym silnikiem TD201 podstawa stanowiska ma 1120 mm wysokości  
Z zamontowanym silnikiem TD202 podstawa stanowiska ma 1320 mm wysokości



Przy konfiguracji z kalorymetrem wymagana będzie większa powierzchnia użytkowa oraz zasilanie wody i odpływ (zob. rys. 9).

2. Rama aparatury pomiarowej zajmuje powierzchnię o wymiarach 520 mm x 1420 mm (ze zbiornikiem paliwa) i ma wysokość 852 mm (z przewodem przelewowym paliwa). Należy ją ustawić na stole warsztatowy lub biurku w pobliżu podstawy stanowiska (zob. rys. 9 i 10). Jeśli w konfiguracji znajduje się również jednostka VDAS należy uwzględnić również miejsce na komputer.



W celu uzyskania prawidłowego przepływu paliwa, dolna część ramy aparatury pomiarowej musi znajdować się ponad silnikiem testowym.

*Silniki testowe mogą powodować hałas podczas pracy (zależnie od zastosowanego systemu odprowadzenia spalin), więc stanowisko należy zamontować w miejscu, w którym nie będzie ono przeszkadzało innym.*

*W stanowisku wykorzystywane jest wysoce łatwopalne paliwo. Należy stosować się do lokalnych przepisów określających postępowanie z tego typu urządzeniami.*

*Należy upewnić się, że miejsce przeprowadzania eksperymentów posiada sprawną wentylację i wyposażone jest w odpowiednie środki ochrony przeciwpożarowej.*

**Przy podłączaniu i odłączaniu przewodów paliwowych należy pamiętać o stosowaniu rękawic ochronnych.**

**UWAGA!**



3. Silniki testowe wykorzystują olej, wodę i paliwo, należy więc użytkować je w miejscu, gdzie wymienione ciecze nie zniszczą powierzchni podłogi. Rama aparatury pomiarowej powinna się znajdować na blacie o powierzchni odpornej na oddziaływanie oleju i paliwa.
4. Eksperymenty należy przeprowadzać w środowisku suchym, czystym, dobrze oświetlonym i wolnym od zanieczyszczeń powietrza. Pomieszczenie musi posiadać wyciąg powietrza i wentylację.

Stanowisko testowe i rama aparatury pomiarowej mogą być ustawione zgodnie z potrzebami użytkownika z zachowaniem wymagań silnika testowego. Należy natomiast zwrócić uwagę, aby:

- Operator znajdował się po przeciwnej stronie odprowadzenia spalin silnika
- Przewód odprowadzający spaliny przebiegał z dala od elementów sterujących silnika
- Przewód doprowadzający paliwo zwisał luźno (nie był napięty) i przebiegał z dala od przewodu odprowadzającego spaliny i od ramienia czujnika obciążenia
- Zawory sterowania przepływu wody w dynamometrze były w pobliżu modułu DTS2 (lub ekranu komputera, jeśli wykorzystywany jest system VDAS), aby operator mógł obserwować wartość prędkości obrotowej silnika podczas regulacji zaworów
- Dwa rzędy korytek kablowych z tyłu ramy aparatury pomiarowej pomagają utrzymać porządek przewodów. Należy wykorzystywać górny rząd dla przewodów zasilających, a dolny dla przewodów sygnałowych i połączeń modułu VDAS. Pomaga to ograniczyć przenoszenie szumów elektrycznych. Korytka posiadają „zęby”, które można wyłamać, dzięki czemu można wyprowadzić z nich np. grubsze przewody lub ich pęki. Prowadząc przez nie przewody należy zachować ostrożność.
- POD ŻADNYM POZOREM nie należy prowadzić przewodów paliwowych przez korytka kablowe!

## Montaż i usytuowanie

### **Podstawa stanowiska i rama aparatury pomiarowej**

1. Skorzystaj z pomocy, aby ustawić w miejscu docelowym podstawę stanowiska pomiarowego i ramę aparatury pomiarowej. Na rysunkach 9 i 10 znajdziesz przykładowe rozmieszczenie komponentów.

**UWAGA!**

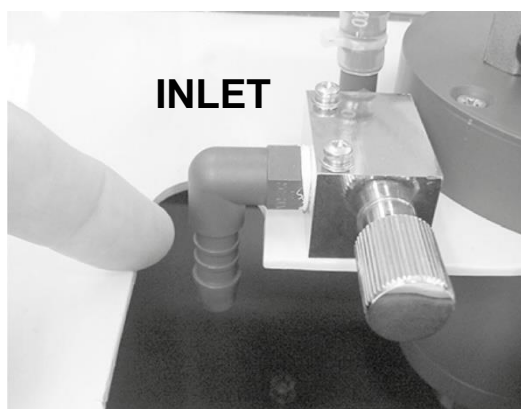


**Podstawa stanowiska pomiarowego i rama aparatury pomiarowej są ciężkie, przy ich przemieszczaniu należy skorzystać z pomocy.**

**Korzystaj z rękawic ochronnych pracując przy paliwie, oleju i ich przewodach.**

2. Zamontuj moduły pomiarowe na ramie. Upewnij się, że wskaźnik poziomu paliwa znajduje się po prawej stronie ramy aparatury pomiarowej.
3. Podłącz króciec zasilania zimnej wody dynamometru (inlet) do źródła czystej, zimnej wody (zob. „Specyfikacja Techniczna” na stronie 11 i rys. 10). Wlot wody znajduje się tuż pod zaworem kontrolnym (zob. Rys. 11).

4. Podłącz przewód odpływowy do wylotu dynamometru (outlet). Znajduje się on od spodu dynamometru (zob. Rys. 11).



Rys. 11 Króciec zasilania zimnej wody pod zaworem kontrolnym. Wylot wody pod spodem dynamometru.

5. Zamontuj silnik testowy na podstawie stanowiska zgodnie z opisem w instrukcji obsługi silnika lub posługując się skróconą instrukcją w podrozdziale „**Podstawowa instrukcja montażu silnika testowego (dot. Silników dostarczonych przez firmę TecQuipment)**” na stronie 22.

### **Montaż odprowadzenia spalin**

**UWAGA!**



**Upewnij się, że zastosowany sposób odprowadzenia spalin spełnia wymogi lokalnych przepisów lub jest poprowadzony do odpowiedniego wyciągu laboratoryjnego.**

**Poprowadź odprowadzenie spalin do odpowiedniego wyciągu laboratoryjnego. Upewnij się, że wszystkie połączenia są właściwie uszczelnione tak, aby do laboratorium nie dostały się spaliny.**

**Przestrzegaj lokalnych przepisów bezpieczeństwa. Spaliny w postaci gazowej i w postaci kondensatu są gorące i trujące.**

**Uwaga**



**Firma TecQuipment w zestawie dostarcza 2,5 m kanał do odprowadzania spalin wraz z klamrą zaciskową. Niezbędne adaptory i krótki kanał odprowadzania spalin dostarczane są w zestawie z silnikami testowymi.**

**Jeśli w konfiguracji nie występuje kalorymetr (TDx00a) wykonaj kroki 6 do 8. Jeśli w konfiguracji występuje kalorymetr, przejdź do kroku 9.**

6. Zainstaluj adapter (dostarczony wraz z silnikiem) w wylocie spalin z silnika. Użyj klamry zaciskowej (dostarczonej wraz ze stanowiskiem testowym) do podłączenia krótkiego odcinka kanału odprowadzającego spaliny (dostarczonego wraz ze stanowiskiem testowym) do silnika. Połącz drugi koniec krótkiego odcinka kanału z długim kanałem (dostarczonym wraz z stanowiskiem testowym) w następujący sposób:
7. Podłącz koniec kanału odprowadzającego spaliny do wyciągu laboratoryjnego, oddalonego od strefy wykonywania pomiarów. Upewnij się, że koniec kanału odprowadzającego spaliny znajduje się co najmniej 100 mm niżej niż punkt przyłączenia kanału do silnika testowego, co zapobiegnie cofaniu się kondensatu spalin do silnika, co z kolei mogłoby uszkodzić silnik. Rysunek 15 przedstawia proponowane ułożenie kanału odprowadzenia spalin ze studzienką.
8. Przejdź do kroku 13.

**Jeśli w konfiguracji występuje kalorymetr (TDx00a) wykonaj kroki 9 do 12.**

9. Wykorzystując opcjonalny kalorymetr (Rys. 9):

- Podłącz dodatkowy kanał odprowadzający spaliny (dostarczony wraz z kalorymetrem) do silnika za pomocą klamry zaciskowej.
- Koniec dodatkowego kanału odprowadzającego spaliny zakończony kołnierzem podłącz do TDx00a używając uszczelki (Rys. 13).
- Dopasuj dołączony kołnierz do adaptera z klamrą zaciskową do wylotu kalorymetru używając uszczelki (Rys. 14).
- Następnie podłącz standardowy kanał odprowadzający spaliny (dostarczony wraz z stanowiskiem testowym) do adaptera.

10. Podłącz koniec kanału odprowadzania spalin do wyciągu laboratoryjnego, z dala od strefy wykonywania pomiarów. Upewnij się, że koniec kanału odprowadzającego spaliny znajduje się przynajmniej 100 mm niżej niż przyłącze odprowadzania spalin z silnika testowego. Zapobiegnie to cofaniu się wykroplin spalin z powrotem do silnika, co mogłoby go uszkodzić. Rysunek 15 przedstawia sugerowane ułożenie kanału odprowadzającego spaliny z uwzględnieniem „studzienki” zatrzymującej wykropliny.

11. Owiń dwiema warstwami otuliny z włókna szklanego kanał odprowadzający spaliny wychodzący z silnika (zob. rys. 5). Pozwoli to poprawić dokładność pomiarów wykonanych za pomocą kalorymetru, jeśli występuje on w danej konfiguracji. Użyj dołączonej taśmy w celach montażowych.

**UWAGA!**



***Używając kalorymetru osobno zaizoluj kołnierz wlotowy, ponieważ w trakcie pracy staje się on gorący.***

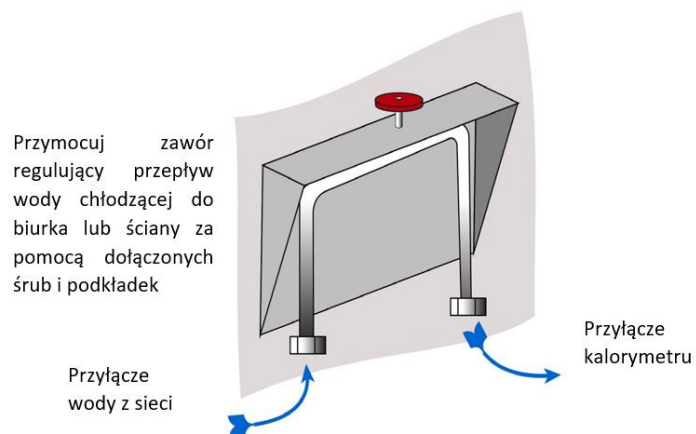
***Do zakładania izolacji z włókna szklanego używaj rękawiczek i maseczki. Częsteczki włókna szklanego są drażniące dla skóry i układu oddechowego.***

12. Zainstaluj zawór regulujący przepływ wody chłodzącej w wyznaczonym miejscu (zob. Rys. 12).

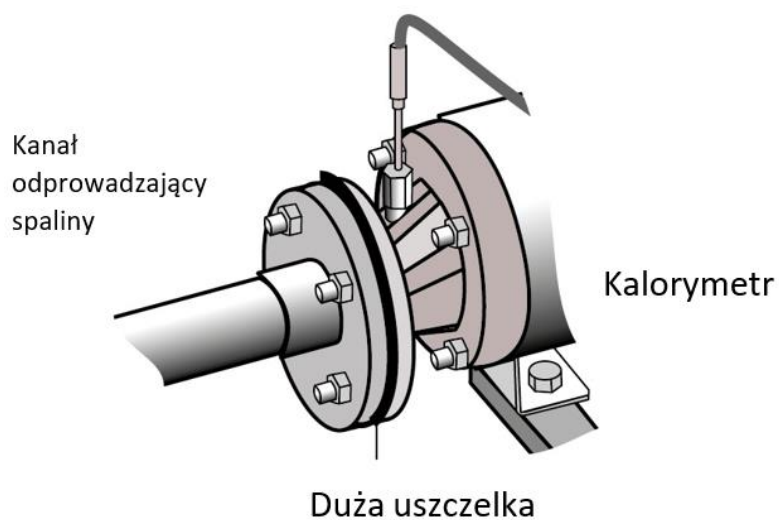
Uwaga



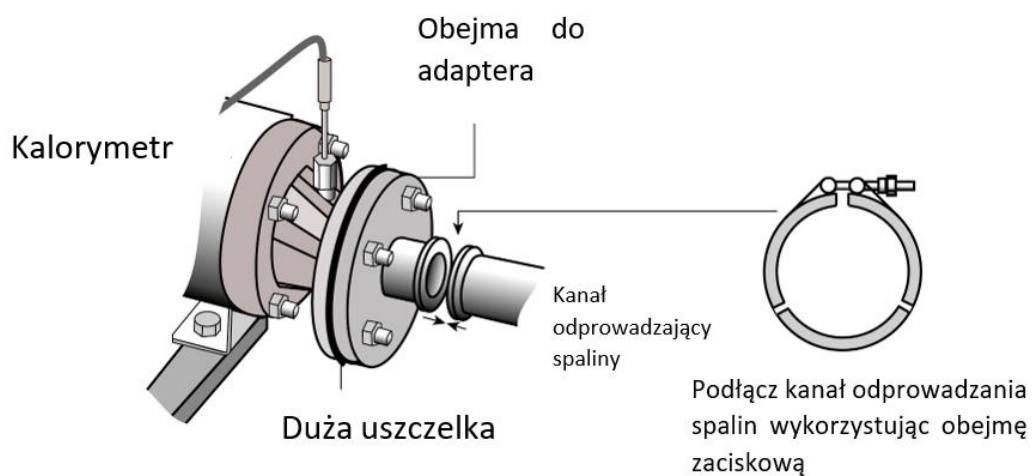
***Kalorymetr jest urządzeniem przeciwproudowym, więc woda chłodząca musi przepływać w kierunku przeciwnym do spalin.***



Rys. 12 Podłączenie zaworu regulującego przepływ wody chłodzącej



Rys. 13 Zamontuj kanał odprowadzający spaliny pomiędzy silnikiem testowym i opcjonalnym kalorymetrem (jeśli występuje)



Rys. 14 Podłącz dostarczony kanał odprowadzania spalin wykorzystując adapter i obejmę zaciskową



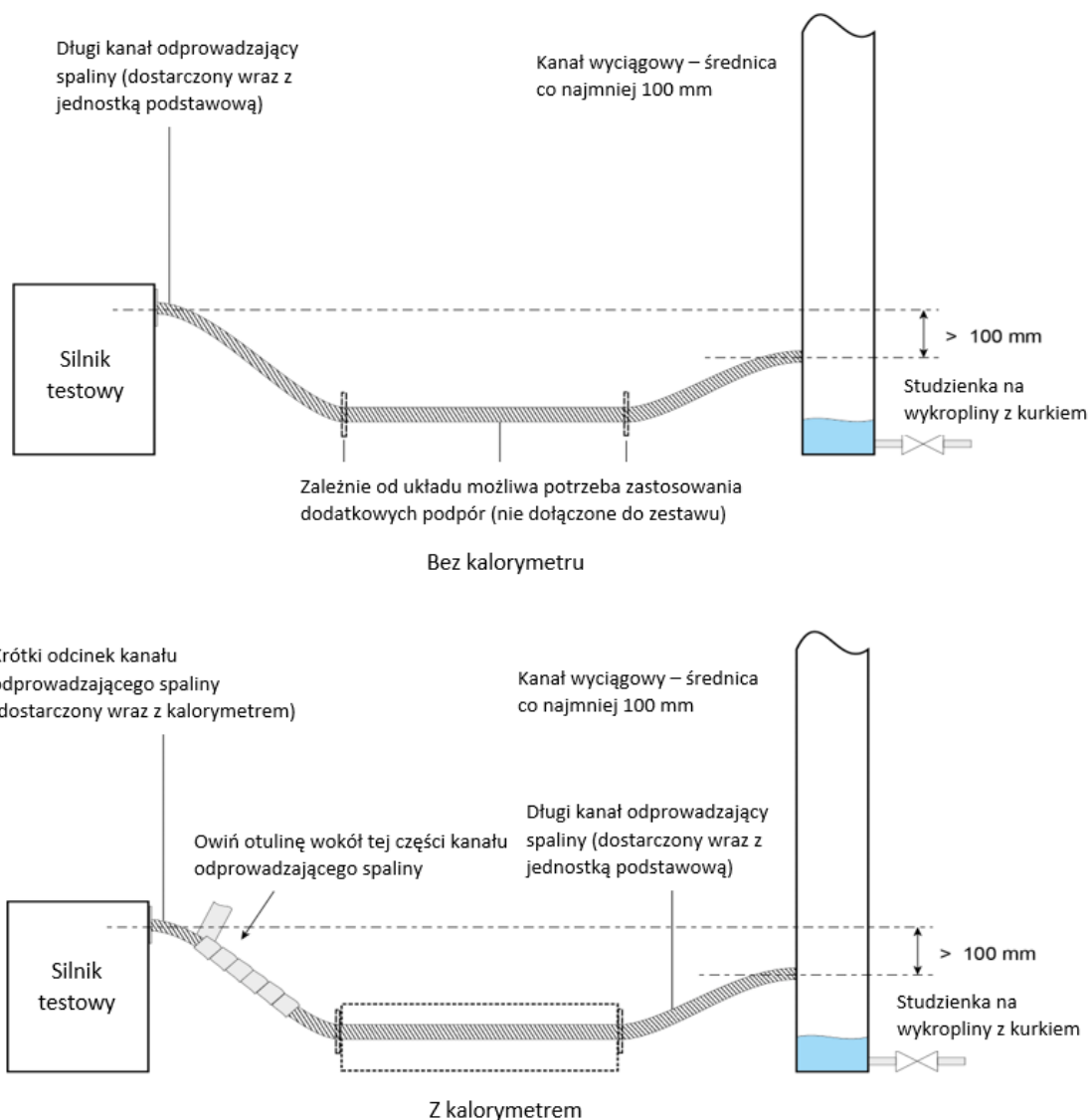
13. Podłącz przewody sygnałowe podstawy stanowiska do odpowiednich gniazd w aparaturze pomiarowej znajdującej się na ramie (zob. Rys. 17). Jeśli to konieczne, w celu zachowania porządku w prowadzonych przewodach, wykorzystaj korytka kablowe znajdujące się z tyłu ramy aparatury pomiarowej.



*Przewody zasilające powinny znajdować się w oddzielnym korytku od niskonapięciowych przewodów sygnałowych.*

***Zachowaj przewody sygnałowe w bezpiecznej odległości od świecy zapłonowej silnika benzynowego.***

14. Jeśli wykorzystywany jest opcjonalny system akwizycji danych VDAS, w celu właściwej konfiguracji odnieś się do rysunku 18 i instrukcji obsługi systemu VDAS.
15. Podłącz ramę aparatury testowej do zasilania zgodnie z opisem w sekcji „**Połączenia elektryczne**” na stronie 21.
16. Podłącz doprowadzenie paliwa do silnika jak opisano w sekcji „**Zbiorniki paliwa i Wskaźnik poziomu paliwa**” na stronie 26.
17. Jeśli wykorzystywany jest kalorymetr, podłącz przewody czujników do jednostki DTF1 (zob. rys. 17 i 18).



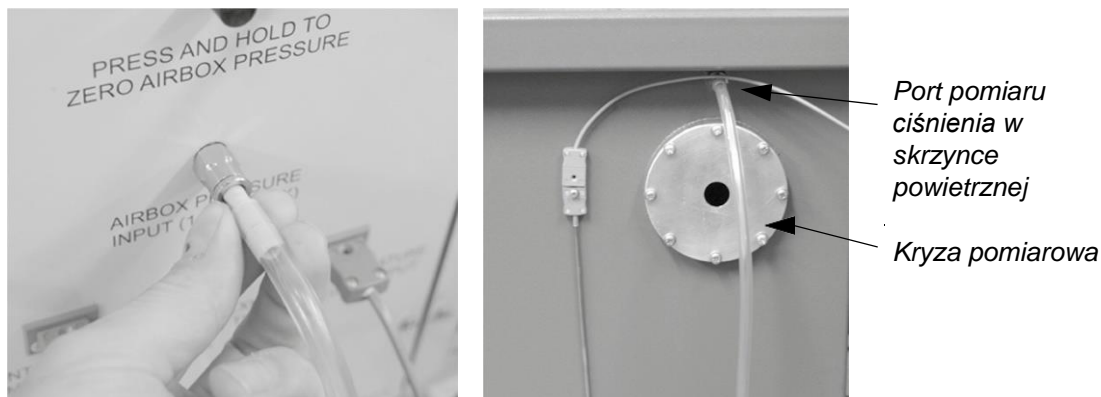
Rys. 15 Schemat systemu odprowadzania spalin

## Rurka pomiaru ciśnienia

Urządzenie dostarczone jest wraz z długim zwojem plastikowej rurki i adapterem do jej podłączenia.

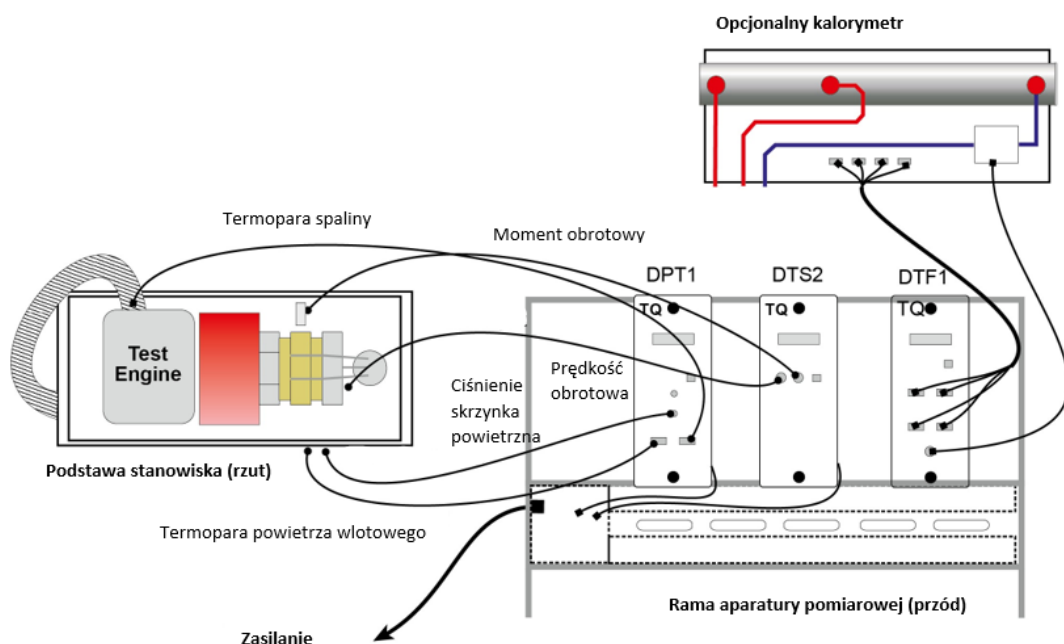
Adapter montowany jest na jednym końcu rurki i podłączany jest do portu pomiaru ciśnienia powietrza wlotowego do silnika w module wyświetlacza pomiaru parametrów spalin (zob. rysunek). Drugi koniec rurki podłączany jest do portu w skrzynce powietrznej, znajdującego się tuż ponad kryzą pomiarową.

Aby usunąć rurkę z portu ciśnieniowego, naciśnij kołnierz wokół portu i delikatnie odcignij rurkę.

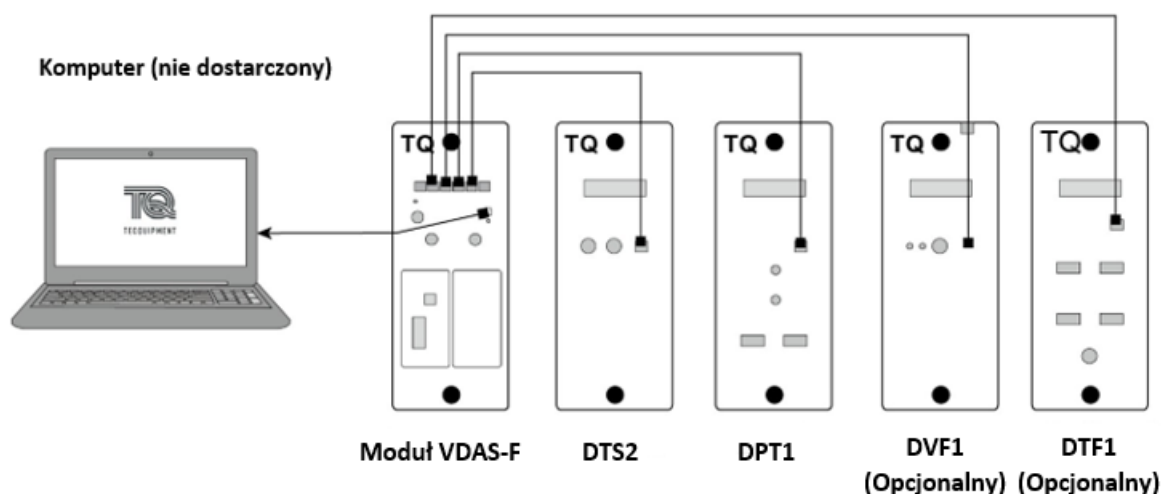


Rys. 16 Zamocuj adapter na jednym końcu rurki, a drugi jej koniec podłącz do skrzynki powietrznej





Rys. 17 Połączenia elektryczne



Rys. 18 Połączenia interfejsu opcjonalnego systemu akwizycji danych VDAS

## Połączenia elektryczne

Za pomocą dołączonych przewodów podłącz ramę aparatury pomiarowej do zasilania.



**Podłącz urządzenie do zasilania wtykając wtyczkę do gniazdka. Stanowisko musi być uziemione.**

Podłączenie wtyczki i gniazdka do ramy aparatury pomiarowej jest główną formą izolacji elektrycznej. Moduły wyświetlaczy są izolowane również za pośrednictwem ich wtyczek i gniazd.

Zadbaj, aby do połączeń elektrycznych dostęp nie był utrudniony.

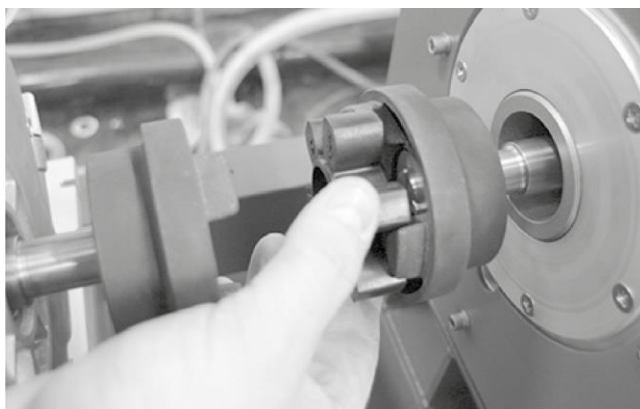
Przewody oznaczone są kodem kolorystycznym:

<b>ZIELONO-ŻÓŁTY:</b>	<b>UZIOM E LUB</b> 
<b>BRAZOWY:</b>	<b>FAZA (PLUS)</b>
<b>NIEBIESKI:</b>	<b>NEUTRALNY</b>

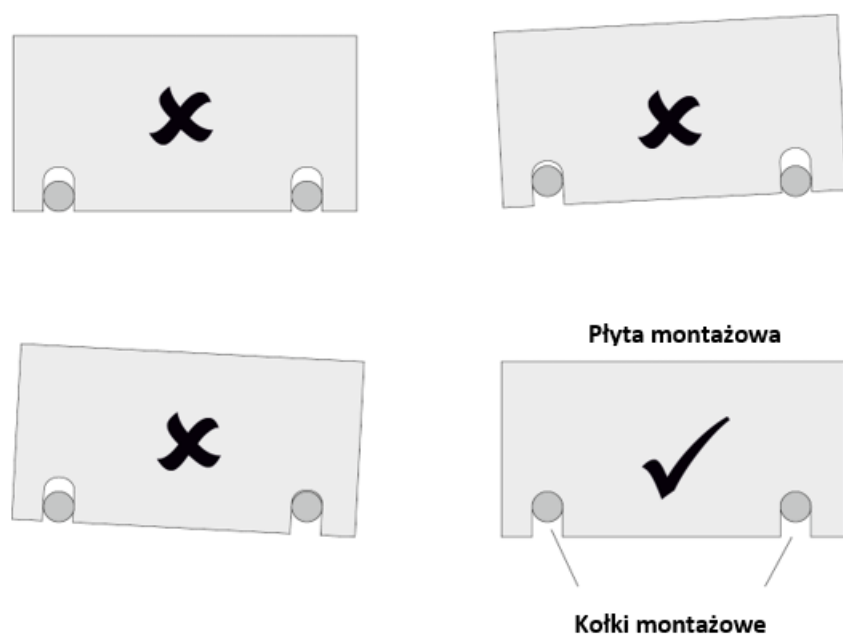
## Podstawowa instrukcja montażu silnika testowego (dot. Silników dostarczonych przez firmę TecQuipment)''

Silniki dostarczane przez firmę TecQuipment zamontowane są na płycie montażowej, która posiada maszynowo wykonane żłobienia umożliwiające precyzyjne umiejscowienie silnika testowego przy dynamometrze. W celu zamontowania:

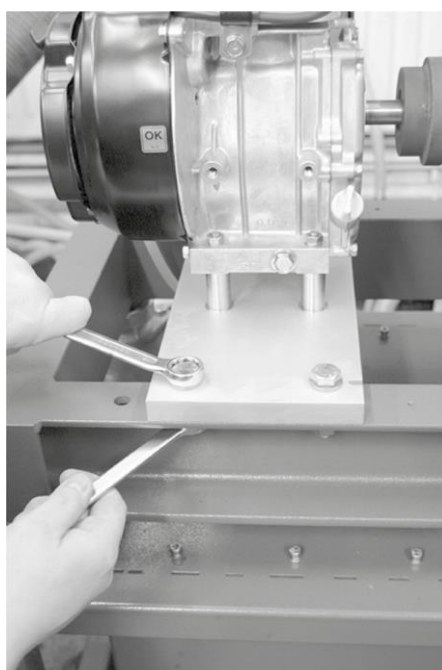
1. Skorzystaj z pomocy drugiej osoby w celu umieszczenia silnika testowego na jednostce pomiarowej tak, aby wał wyjściowy silnika znajdował się w pobliżu wału wejściowego dynamometru. Zamontuj wykonany z gumy element na sprzęgło dynamometru (zob. Rys. 19).
2. Ostrożnie zsuń silnik z dynamometrem, aż płyta montażowa całkowicie oprze się o kołki pozycjonujące w jednostce podstawowej. Może być potrzeba obrócenia wału dynamometru w celu spasowania sprzęgła.
3. Użyj dużych śrub z podkładkami sprężynowymi (dostarczone), aby przytwierdzić płytę montażową silnika testowego. Upewnij się, czy płyta montażowa znajduje się we właściwym położeniu (zob. rys. 20), a następnie dokręć śruby mocujące (zob. rys. 21).
4. Zamocuj osłonę sprzęgła do podstawy stanowiska (zob. Rys. 22).



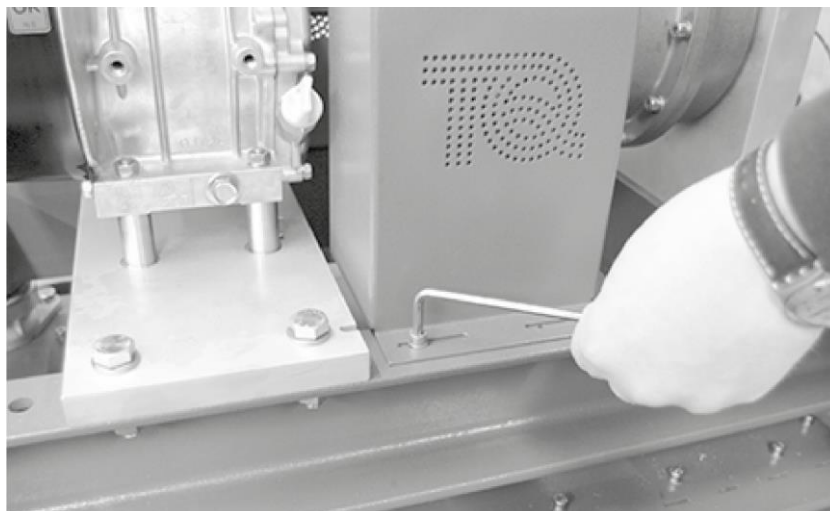
*Rys. 19 Zamontuj gumowy element na sprzęgło dynamometru*



Rys. 20 Popraw ułożenie płyty montażowej względem kołków montażowych

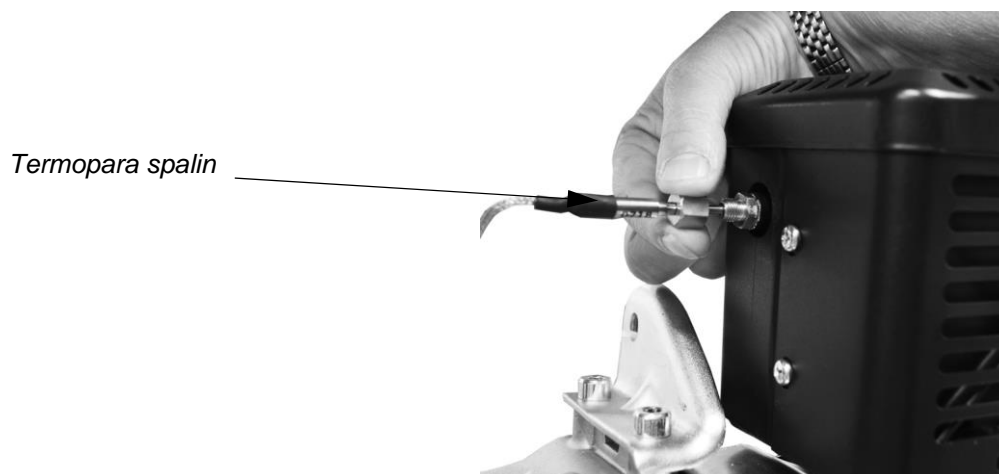


Rys. 21 Użyj dużych nakrętek, śrub i podkładek w celu przytwierdzenia silnika do jednostki podstawowej (na zdjęciu moduł TD201)



*Rys. 22 Zamontuj osłonę sprzęgła*

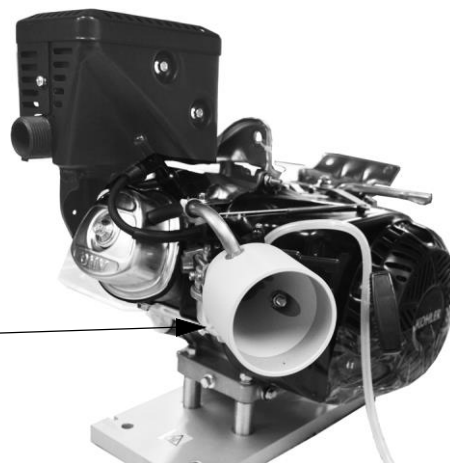
5. Zamocuj termoparę spalin (gazów wylotowych).
6. Zamocuj adapter (dostarczony wraz z silnikiem) podłączając go do kanału odprowadzającego spaliny i obejmy zaciskowej (dostarczonych wraz z jednostką podstawową) lub do dowolnego adaptera kanału odprowadzającego spaliny (zapewnionego przez użytkownika) niezbędnego w celu odprowadzenia spalin do wyciągu w laboratorium (zob. Rys. 24).
7. Zamontuj kanał doprowadzający powietrze ze skrzynki powietrznej do kolektora wlotowego silnika (zob. rys. 24).
8. Podłącz przewód paliwowy łączący silnik z wylotem wskaźnika poziomu paliwa (zob. rys. 25).



*Rys. 23 Zamontuj termoparę*

*Zamontuj  
adapter  
kanału  
spalinowego*

*Zamontuj doprowadzenie powietrza*



*Rys. 24 Zamontuj przewód doprowadzający powietrze i odpowiedni adapter do podłączenia systemu odprowadzania spalin*



*Rys. 25 Podłącz przewód paliwowy z silnika do wylotu wskaźnika poziomu paliwa*

## **Zbiorniki paliwa i wskaźnik poziomu paliwa**

### **Uwagi związane ze złączką samouszczelniającą**

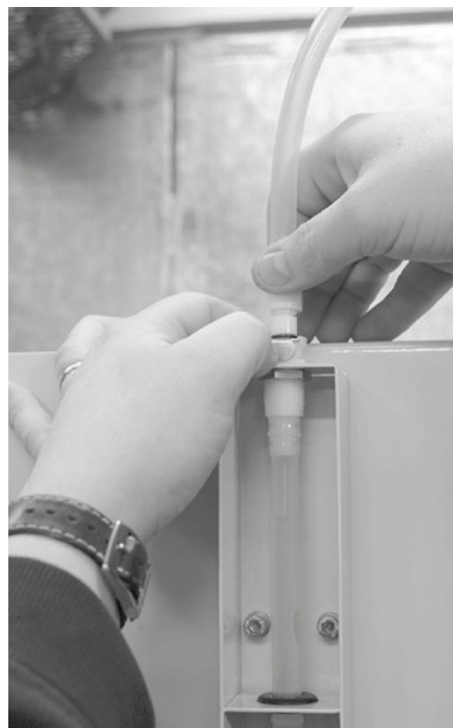
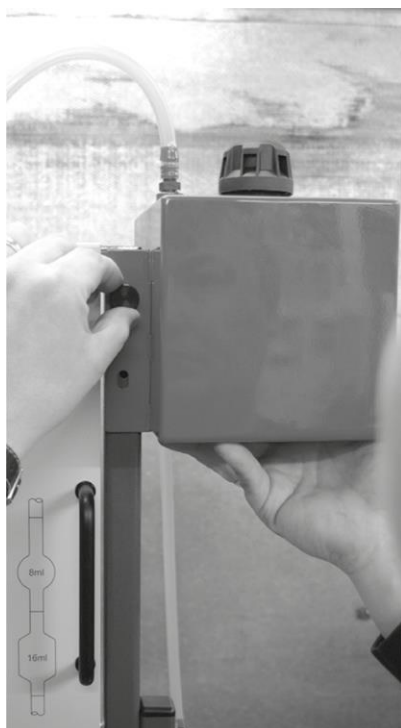
Samouszczelniające złączki zamontowane na przewodach paliwowych wyposażone są w mechanizm blokujący. Aby zapobiec uszkodzeniu ich podczas łączenia ze sobą należy sprawdzić, czy mechanizm blokujący jest otwarty.



*Rys. 26 Sprawdź, czy mechanizm blokujący w złączce samouszczelniającej pozostaje w pozycji otwartej (jak na zdjęciu po lewej stronie)*

### **W celu zamontowania wskaźnika poziomu paliwa i zbiornika paliwa**

1. Przytwierdź zbiornik paliwa do otworów pozycjonujących znajdujących w prawym górnym rogu ramy montażowej aparatury (zob. Rys. 27).
2. Zaczep wskaźnik poziomu paliwa do ramy montażowej aparatury i wsuń go na prawo od ramy.



*Rys. 27 Montaż zbiornika paliwa do otworów pozycjonujących znajdujących się w ramie montażowej aparatury i podłączenie rurki odpowietrzającej.*

**UWAGA**

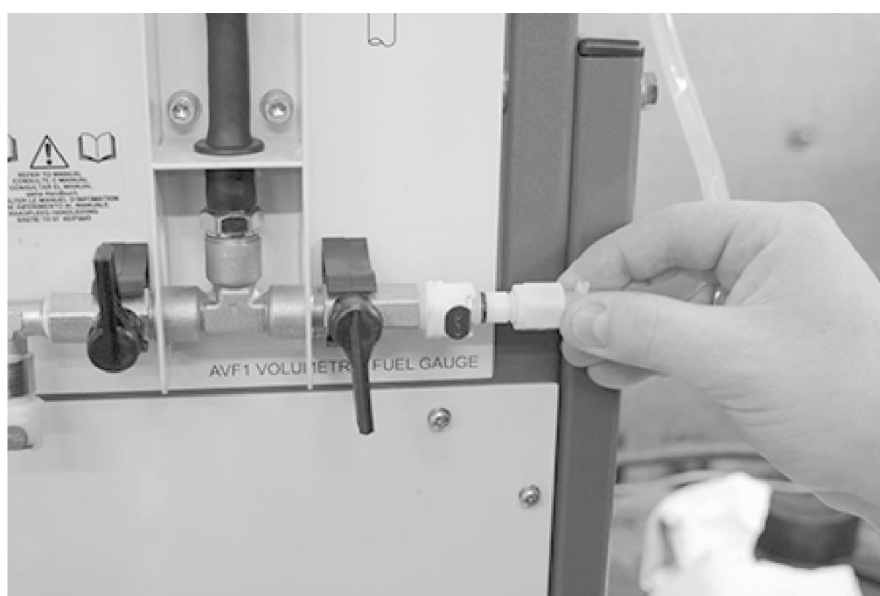
*Dla bezpieczeństwa i łatwości obsługi należy upewnić się, że wskaźnik poziomu paliwa znajduje się po prawej stronie ramy montażowej aparatury. Wszystkie pozostałe przyrządy pomiarowe powinny znajdować się po jego lewej stronie.*

3. Podłącz rurkę odpowietrzającą od góry wskaźnika poziomu paliwa do otworu odpowietrzającego znajdującego się w górnej części zbiornika paliwa (zob. rys. 27).

**Uwaga**

*Większość przewodów paliwowych posiada złącza samouszczelniające, które zapobiegają wyciekom paliwa.*

4. Podłącz przewód doprowadzający paliwo od spodu zbiornika paliwa do wlotu paliwa znajdującego się po prawej stronie wskaźnika poziomu paliwa (zob. Rys. 28).



*Rys. 28 Podłączenie przewodu zasilającego od spodu zbiornika paliwa do wlotu wskaźnika poziomu paliwa.*

### **Aby spuścić paliwo z powrotem do zbiornika**

Po zakończeniu użytkowania, ze względów bezpieczeństwa, wszelkie niewykorzystane paliwo należy spuścić z przewodów paliwowych i wskaźnika poziomu paliwa, z powrotem do zbiornika paliwa, a następnie przechowywać je w bezpiecznym miejscu. W celu opróżnienia zbiornika paliwa:

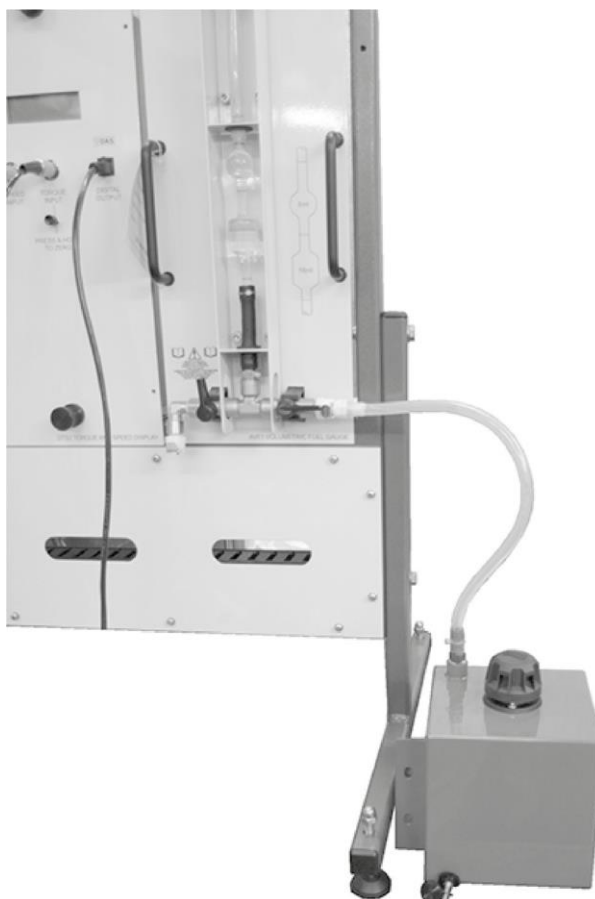
1. Weź kilka szmatek lub ręczników papierowych (w celu wchłonięcia ewentualnych wycieków paliwa) i ołówek.
2. Zamknij wszystkie zawory paliwowe na wskaźniku poziomu paliwa.
3. Odłącz przewód odpowietrzający od górnej części wskaźnika poziomu paliwa i podłącz go do wlotu paliwa (zob. Rys. 29).
4. Odkręć śruby mocujące zbiornik paliwa do ramy.
5. Powoli opuść zbiornik paliwa na biurko lub stół (zob. Rys. 29).

6. Otwórz zawór wlotowy paliwa i podłącz "rurkę spustową" (dołączona w zestawie) do rurki odpowietrzającej wskaźnika poziomu paliwa (zob. rys. 30). Pozwoli to na dostanie się powietrza do wskaźnika poziomu paliwa, a paliwo spłynie w dół z powrotem do zbiornika paliwa.



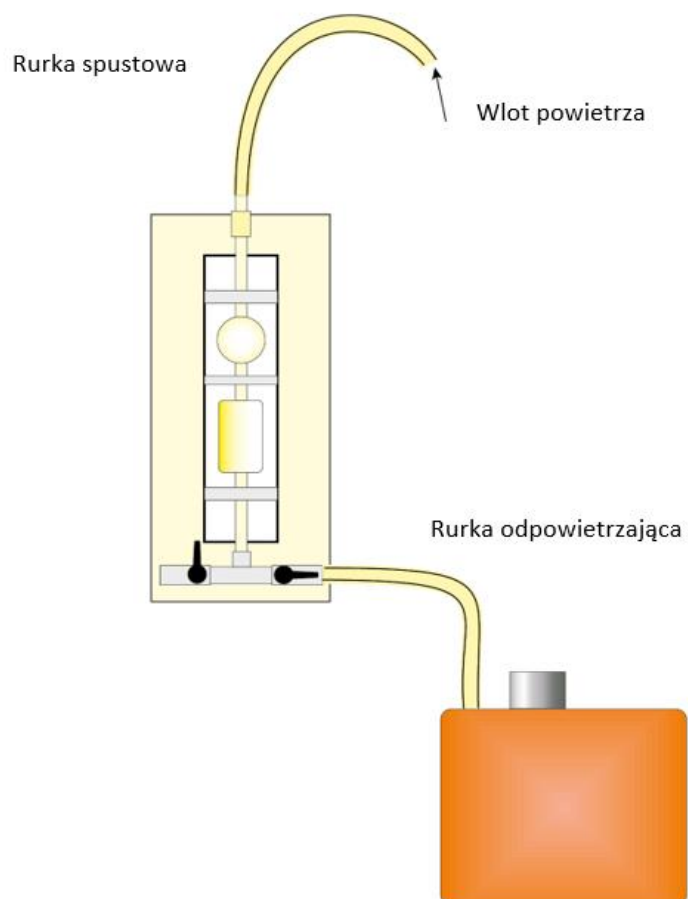
*Przewód spustowy służy wyłącznie do spuszczenia paliwa z wskaźnika poziomu paliwa. Nie należy używać go do innych celów.*

7. Przewód paliwowy silnika testowego w razie potrzeby można pozostawić napełniony paliwem, ale jeżeli silnik nie będzie użytkowany przez kilka dni, wówczas paliwo należy spuścić. W tym celu:
- Postaw zbiornik paliwa na podłodze w pobliżu podstawy testowej i otwórz korek wlewu paliwa.
  - Ołówkiem przytrzymaj otwarte przyłącze przewodu paliwowego silnika i spuść paliwo z powrotem do zbiornika paliwa (zob. Rys. 31).
8. Załóż korek wlewu zbiornika paliwa, a sam zbiornik przechowuj w bezpiecznym miejscu.



*Rys. 29 Opuszczanie zbiornika paliwa na blat biurka lub stołu*





Rys. 30 Użyj "rurki spustowej" (dostarczonej w zestawie)



Rys. 31 Otwórz ołówkiem złącze i spuść paliwo z przewodu paliwowego silnika testowego.



# Przydatne zagadnienia teoretyczne, równania i uwagi dotyczące eksperymentów na silnikach

## Oznaczenia

Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
Współczynnik wypływu kryzy	$C_d$		0.6
Ciepło spalania paliwa	$C_L$	J/kg	Zob. Tabela 2
Ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnieniu	$C_p$	J/kgK	(1004.5 przy niskim ciśnieniu i temperaturze pokojowej)
Średnica kryzy	$d$	m	(Zob. "Specyfikacja techniczna" na stronie 11)
Ciśnienie otoczenia	$p_A$	Pa	
Prędkość obrotowa silnika	$N$	Obr/min	
Temperatura otoczenia - powietrza (na wlocie)	$T_A$	K	
Zmiana ciśnienia	$\Delta p$	Pa	
Entalpia powietrza	$H_A$	W	
Energia spalania paliwa	$H_F$	W	
Straty ciepła w spalinach	$H_{LE}$	W	
Stała gazowa powietrza	$R$	J/kgK	287 J/kgK
Prędkość powietrza	$U$	m/s	
Gęstość powietrza	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	
Natężenie przepływu powietrza (masowe)	$\dot{m}_a$	kg/s	
Masowe natężenie przepływu paliwa	$\dot{m}_f$	kg/s	
Sprawność objętościowa	$h_V$	%	
Sprawność cieplna	$h_T$	%	
Średnie ciśnienie użyteczne (ang. Brake Mean Effective Pressure (BMEP))		bar	

Table 3 Oznaczenia

## Natężenie przepływu masowe i objętościowe

W wielu obliczeniach potrzebny jest przepływ masowy cieczy, ale przyrządy odczytują jedynie przepływ objętościowy. Wynika to z faktu, że przepływ masowy zależy od gęstości cieczy, która może zmieniać się w zależności od temperatury. Zależność między masą i objętością cieczy jest następująca:

$$\text{Masa} = \text{Gęstość} \times \text{Objętość}$$

Tak więc:

Masowe natężenie przepływu (w kg/s) = Gęstość (w kg/m<sup>3</sup>) x (Objętościowe natężenie przepływu (w l/s)/1000)

## Zużycie powietrza

Na wlocie do skrzynki powietrznej znajduje się kryza. Moduł DPT1 pokazuje ciśnienie powietrza otoczenia (przed kryzą) i ciśnienie powietrza w skrzynce powietrznej (za kryzą). Z różnicy ciśnień ( $\Delta p$ ) i gęstości powietrza ( $\rho$ ) można określić prędkość przepływu powietrza ( $U$ ):

$$U = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

W celu określenia przepływu masowego ( $\dot{m}_a$ ) równanie prędkości przepływu powietrza jest modyfikowane. Wyodrębnia się gęstość i włącza współczynnik wypływu ( $C_d$ ) kryzy i jej średnicę:

$$\dot{m}_a = \frac{C_d \pi^2}{4} \sqrt{\frac{2p_A \Delta p}{RT_A}}$$

## Zużycie paliwa

W celu określenia masowego zużycia paliwa potrzebny jest przepływ objętościowy i gęstość paliwa:

Masowe natężenie przepływu paliwa (w kg/s) = Gęstość paliwa (kg/m<sup>3</sup>) x (Objętościowe natężenie przepływu paliwa (l/s)/1000)

Do określenia jednostkowego zużycia paliwa (ilość pracy z paliwa) potrzebne jest masowe zużycie paliwa i wytworzona moc mechaniczna (mierzona przez dynamometr):

$$\text{Jednostkowe zużycie paliwa} = \text{Masowe zużycie paliwa} * 3600 \text{ moc mechaniczna} / 1000$$

Gdzie:

Jednostkowe zużycie paliwa = kg kW/h

Masowe zużycie paliwa = kg/s

Moc Mechaniczna = Wat

## Stężenie mieszanki powietrzno-paliwowej

Jest to po prostu stosunek masowego natężenia przepływu powietrza do masowego natężenia przepływu paliwa:

$$\text{Stężenie mieszanki powietrzno – paliwowej} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f}$$

## Sprawność objętościowa

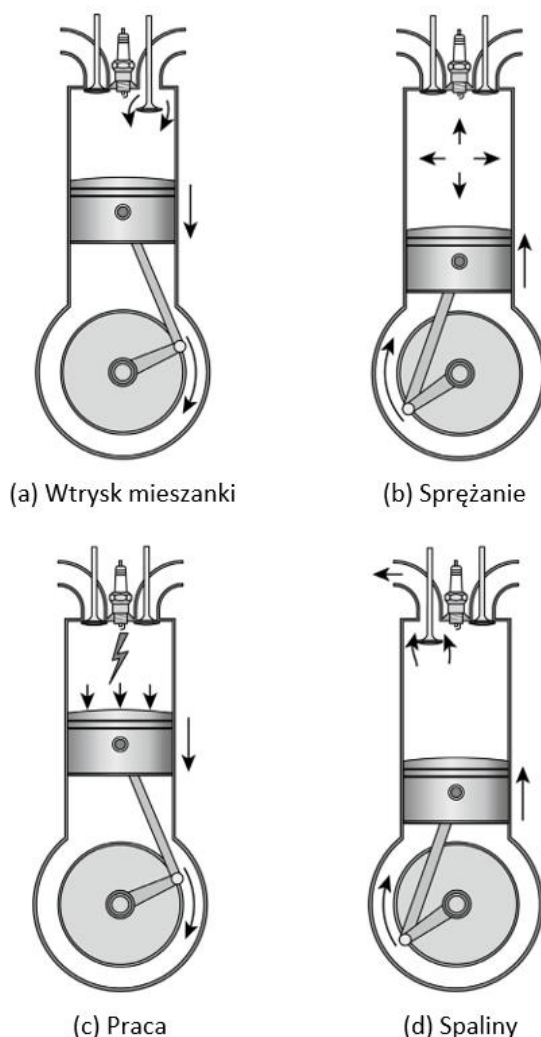
Jak pokazano na rysunkach 32 i 33, silnik czterosuwowy wykonuje dwa obroty na każdą objętość powietrza, którą zużywa, natomiast silnik dwusuwowy obraca się tylko raz na każdą objętość.

Tłok silnika czterosuwowego przesuwają się w dół, aby zassać mieszankę powietrzno-paliwową, a następnie porusza się w górę, aby ją skompresować i doprowadzić do jej spalania. Następnie tłok jest ponownie wciskany w dół przez proces spalania i przemieszcza się w górę, aby wypchnąć spaliny. W ramach czterech suwów wyróżniamy:

- Zassanie mieszanki powietrzno-paliwowej
- Sprężanie mieszanki

- Zapłon mieszanki
- Wypchnięcie spalin z cylindra

Dwusuwowy silnik w trakcie ruchu zasysa mieszankę paliwowo-powietrzną i gazy spalinowe ze skrzyni korbowej, dzięki czemu za każdym razem, gdy tłok się unosi, jest gotowy do spalania.



Rys. 32 Cykl czterosuwowy

Sprawność objętościowa jest to stosunek zmierzonej objętości powietrza lub gazu wprowadzanego do silnika do obliczonej objętości powietrza, którą powinien wykorzystać silnik. W tym celu należy znać pojemność silnika, ilość suwów silnika i jego prędkość obrotową:

$$\text{Objętość obliczona} = \frac{\text{Pojemność silnika} * \text{ } * N}{\left(\frac{\text{Ilość suwów}}{2}\right) * 60}$$

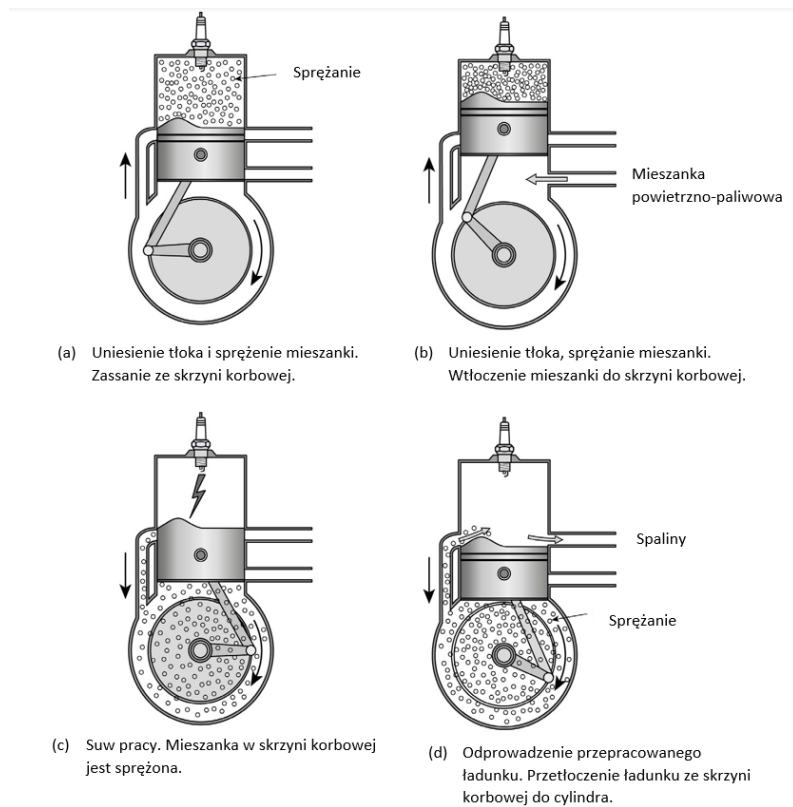


Uwaga

Pojemność silnika jest zazwyczaj podawana w cc (centymetrach sześciennych) lub litrach. Do celów obliczeń objętości należy ją przeliczyć na metry sześcienne.  $100 \text{ cc} = 0.0001 \text{ m}^3$

$$\text{Objętość zmierzona} = \frac{m_a * R * T_A}{p_A}$$

$$\text{Sprawność objętościowa } \eta_v = \frac{\text{Objętość zmierzona}}{\text{Objętość obliczona}} * 100$$



*Schemat przedstawia króćce wlotowe i wylotowe po jednej stronie silnika w celu zwiększenia czytelności - zwykle znajdują się one naprzeciwko siebie (przepływ krzyżowy).*

Rys. 33 Cykl dwusuwowy

## Energia spalania paliwa i entalpia powietrza

Energia cieplna spalania paliwa (w watach) jest określana przez zużycie paliwa i jego ciepło spalania:

$$H_F = \dot{m}_f C_L$$

Entalpia powietrza wlotowego (w watach) jest określana na podstawie masowego natężenia przepływu powietrza i temperatury otoczenia:

$$H_A = \dot{m}_a C_P T_A$$

## Sprawność cieplna

Jest to stosunek energii cieplnej spalania paliwa do użytecznej mocy mechanicznej wytwarzanej przez silnik:

$$\eta_T = \frac{\text{Moc mechaniczna}}{H_F} * 100$$

## Średnie ciśnienie użyteczne (ang. Brake Mean Effective Pressure (BMEP))

Jest to średnia wartość ciśnienia użytecznego w cylindrze, która umożliwiłaby uzyskanie zmierzonej mocy hamowania. Ciśnienie to jest obliczane jako jednolite ciśnienie w cylindrze, podczas gdy tłok podnosi się z góry na dół przy każdym suwie pracy.

Obliczanie średniego ciśnienia użytecznego jest metodą umożliwiającą porównanie silników dowolnej wielkości.

$$BMEP = \frac{60 * Moc * (Ilość suwów/2)}{0,1 * Prędkość obrotowa * Pojemność silnika}$$

Gdzie:

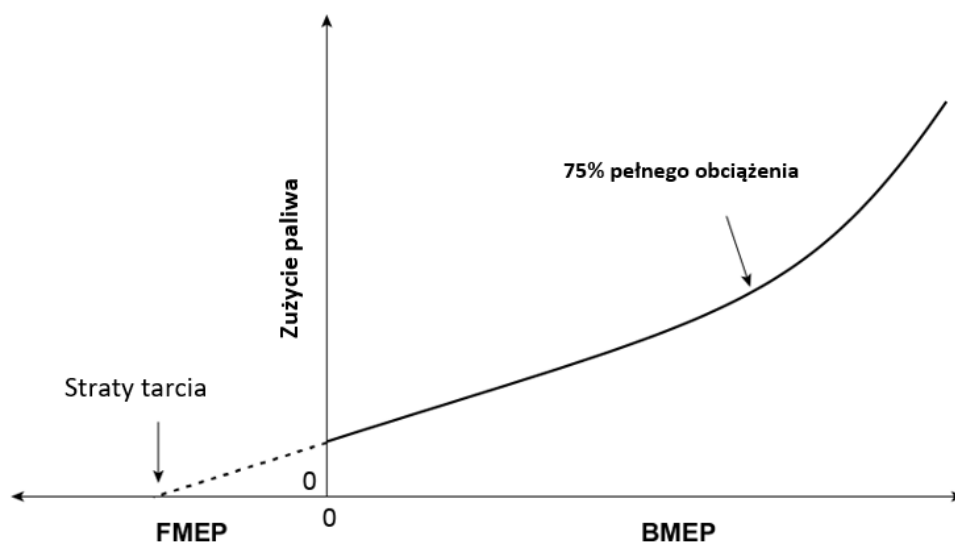
BMEP (bar)

Moc (Wat)

Prędkość obrotowa (obr/min)

Pojemność silnika (centymetry sześcienne (cm<sup>3</sup>) lub cc)

## Metoda Willans Line do określenia strat tarcia w silniku



Rys. 34 Metoda Willans Line

W przypadku silników wolnossących (bez gaźnika) w celu oszacowania strat tarcia w silniku można zastosować metodę Willans Line. Dokonuje się tego poprzez sporządzenie wykresu zużycia paliwa (oś pionowa) względem BMEP (oś pozioma) i wydłużenie najbardziej równomiernej części krzywej w lewo za oś pionową, aż przekroczy ona oś poziomą (brak zużycia paliwa). Punktem przecięcia jest przybliżona wartość FMEP (średnie ciśnienie użyteczne tarcia).

Aby uzyskać poprawne wyniki, silnik musi być badany przy stałej prędkości obrotowej, zaczynając od bardzo małego obciążenia (brak mocy wyjściowej) i zwiększając do pełnego obciążenia. Nachylenie powinno być równomierne aż do około 75% pełnej mocy.

Należy pamiętać, że metoda ta daje tylko przybliżone straty przy braku mocy wyjściowej. Straty w rzeczywistości są większe, gdy silnik zaczyna generować moc.

## Przydatne informacje dotyczące małych silników i ich testów

Istnieją "naukowe" kwestie związane z testowaniem silników, takie jak porównanie między cyklami pracy silnika benzynowego i wysokoprężnego, ale co ważniejsze, istnieją pewne podstawowe i praktyczne uwagi dotyczące małych silników i ich testów. Uwagi te są niezbędne dla inżynierów, którzy testują silniki lub dobierają odpowiednie silniki do konkretnego zastosowania. Poniżej przedstawiono uwagi właśnie tego typu.

Uwaga



Brytyjskie słowo „Petrol” w innych językach używane jest zamiennie ze słowem „gasoline”. W języku polskim mowa o benzynie.

### Normy dotyczące testowania silników

Istnieje wiele międzynarodowych norm i standardów dotyczących przeprowadzania testów silników. Są to między innymi: SAE, DIN i ISO. Normy te wymagają wprowadzenia poprawek do wyników w celu ujednolicenia ich pod kątem porównywalności. Obejmuje to poprawki dotyczące temperatury otoczenia, ciśnienia i wilgotności. Również układy wydechowe i rodzaje paliwa są standaryzowane i rejestrowane.

Stanowisko TD200 jest urządzeniem dydaktycznym, więc nie ma konieczności egzekwowania norm międzynarodowych. Ważnym jest jednak, aby uczniowie rozumieli pojęcie normalizacji. Z tego też powodu studenci powinni w sposób kompleksowy rejestrować warunki otoczenia, datę przeprowadzenia badania, a w przypadku występowania w laboratorium większej liczby urządzeń tego typu, wskazanie który silnik i jednostka podstawowa TD200 były testowane.

### Charakterystyki

Producenci małych silników podają dwie wartości mocy. Pierwsza i najwyższa wartość to **absolutna maksymalna moc**, jaką silnik będzie wytwarzał przy pełnym otwarciu przepustnicy. Ze względu na dość wąski zakres wartości prędkości obrotowej i płaskie krzywe momentu obrotowego małych silników, maksymalna moc jest zazwyczaj osiągana przy maksymalnej dopuszczalnej prędkości obrotowej. To właśnie ta moc jest często podawana na tabliczce znamionowej silnika oraz w dokumentacji marketingowej.

Uwaga



Małe silniki zazwyczaj nie są przystosowane do pracy przy absolutnej maksymalnej mocy przez długi okres czasu i mogą ulec awarii.

Druga wartość to **maksymalna moc ciągła**. Jest to moc wyjściowa i prędkość obrotowa, którą silnik w sposób niezawodny będzie wytwarzał przy długotrwałym użytkowaniu i zazwyczaj oznacza częściowe otwarcie przepustnicy. Zazwyczaj mechanizm "regulatora" ogranicza maksymalną prędkość obrotową (a tym samym moc) silnika. Zamyka on przepustnicę (w przypadku silnika benzynowego) lub ogranicza ruch mechanizmu zębatkowego (ang. rack movement) (w przypadku silnika wysokoprężnego), aby zapobiec przekroczeniu przez silnik stałej wartości znamionowej prędkości obrotowej. Regulator chroni również silnik przed "nadmierną prędkością obrotową" w przypadku nagłego usunięcia obciążenia.

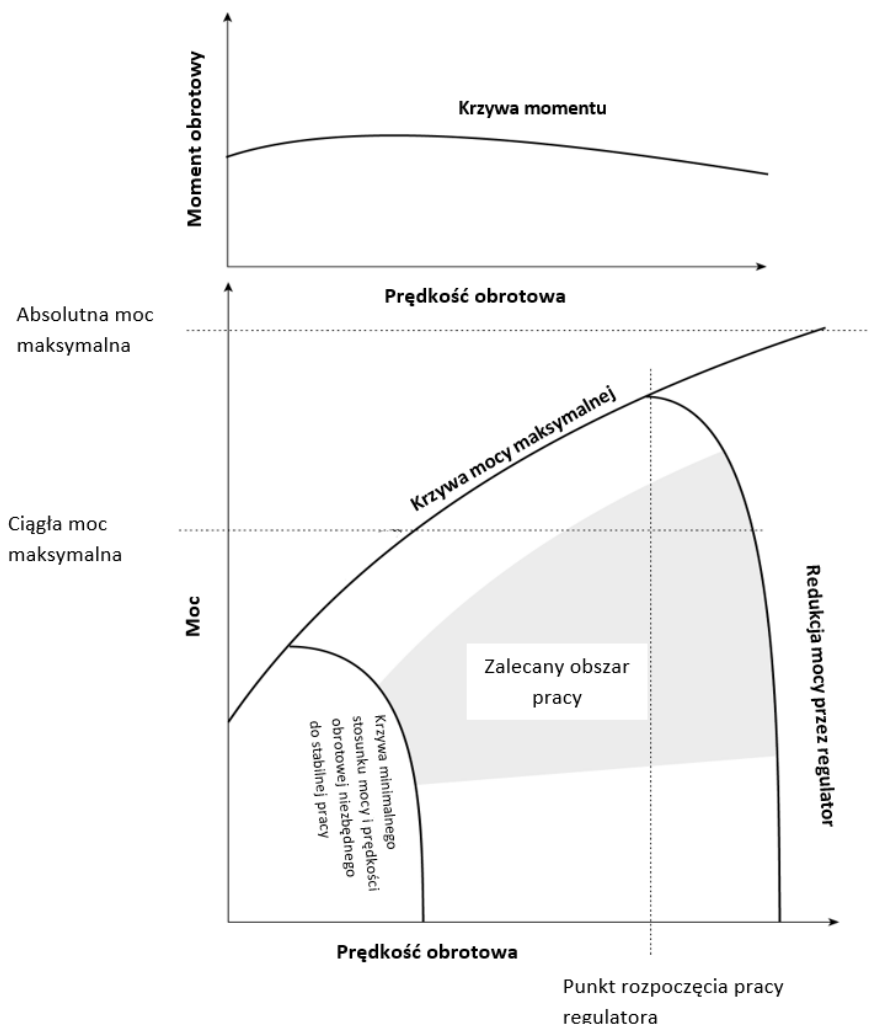
Zwróć uwagę, że maksymalna moc ciągła może stanowić zaledwie 60% absolutnej mocy maksymalnej.

Z wykorzystaniem silników w zestawie testowym TD200 zaleca się przeprowadzanie krótkich i niezbyt częstych testów. Są one przeprowadzane na pełnym otwarciu przepustnicy, jednak regulator jest pozostawiony przy ustawieniu fabrycznym, co ogranicza prędkość obrotową i moc oraz chroni silnik przed nagłym brakiem obciążenia. Można więc zauważyć, że testy są wykonywane jako kompromis pomiędzy absolutną mocą maksymalną silnika a maksymalną mocą ciągłą.





Nowe silniki nie osiągają potencjalnej długookresowej mocy maksymalnej, dopóki nie zostaną "przełamane" - wszystkie części mechaniczne są osadzone, a tarcie jest minimalne. Normalnie nowy silnik wytwarza tylko 85 % podanej mocy.



Rys. 35 Standardowe charakterystyki pracy małych silników

## Silniki

Silniki o niskiej mocy stosowane w systemie TD200 są urządzeniami podstawowymi i niedrogimi w porównaniu z silnikami samochodowymi o wielu cylindrach, precyzyjnie wyważonych podzespołach i zaawansowanych systemach zarządzania pracą silnika. Jednakże, małe silniki stały się ostatnio bardziej doceniane, ze względu na zaostrożone przepisy dotyczące emisji zanieczyszczeń. Małe silniki mają obecnie znacznie bardziej zaawansowane mechanizmy rozrządu zaworowego, korby i tłoki. Konstrukcje zaworów i krzywek wiszących zapewniają lepszy przepływ gazu i proces spalania, co zwiększa wydajność silnika i zmniejsza emisję zanieczyszczeń.

### Silnik benzynowy

W małym silniku benzynowym systemy wytwarzania mieszanki palnej i zapłonu są nadal podstawowe i mogą okazać się zawodne w warunkach "rzeczywistych", takich jak niska temperatura, wiatr i deszcz. Podstawowe układy, w połączeniu z "szczytową" krzywą momentu obrotowego, stosunkowo lekkim kołem zamachowym i korbowodem, powodują nierównomierny rozkład mocy, co zauważą studenci badając mały silnik benzynowy na stanowisku TD200.

Natomiast w przypadku silnika wysokoprężnego zaawansowanie bezpośredniego wtrysku paliwa, ciężkie koło zamachowe i mechanizm korbowy oraz zwykle bardziej płaska krzywa momentu obrotowego dają na ogół bardziej płynną moc i większą niezawodność.

### **Silnik Diesla - wysokoprężny**

Silniki Diesla są na ogół bardziej niezawodne i skomplikowane niż silniki benzynowe, ale są droższe, cięższe i trudniej jest je uruchomić. Koszt małego testowego silnika Diesla do stanowiska TD200 może być od dwóch do trzech razy wyższy niż w przypadku silnika benzynowego o podobnej mocy.

### **Silniki dwusuwowe**

Silniki dwusuwowe nie są już oferowane jako opcjonalne wyposażenie do stanowiska TD200. Współczesne przepisy dotyczące emisji zanieczyszczeń dla małych silników przemysłowych spowodowały zaprzestanie ich stosowania w wielu krajach rozwiniętych, w tym w Wielkiej Brytanii. Cykl dwusuwowy został ujęty w części teoretycznej w celach informacyjnych i porównawczych.

## **Paliwa**

Rozważania przy wyborze silnika obejmują:

- Dostępność paliwa
- Aspekty środowiskowe
- Okoliczności związane z miejscem użytkowania

Większość paliw silnikowych produkowanych jest poprzez destylację ropy naftowej. Po spaleniu paliwa, węgiel, który w nim "uwięziony", jest uwalniany do atmosfery. Stwarza to ogromne wyzwanie dla przyszłych inżynierów i chemików.

Benzyna jest wysoko rafinowanym paliwem, które jest lotne, wymaga ostrożnego obchodzenia się i może być produkowana wyłącznie z ropy naftowej. Do benzyny dodaje się dodatki, które "podnoszą" jej wartość oktanową i ograniczają występowanie "zapłonu wstępnego", czasami nazywanego "stukowym". W tym celu stosowano ołów (ołów tetraetylowy), dopóki nie poznano jego niekorzystnego wpływu na środowisko. Obecnie stosowane są inne dodatki, takie jak np. alkohol. Benzyna jest obecnie złożoną mieszanką związków chemicznych. Pełny wpływ niektórych związków na środowisko nie jest jeszcze w pełni znany.

Paliwa do silników wysokoprężnych są prostsze w produkcji. Istnieją pewne obawy związane z wpływem na środowisko naturalne dotyczące ilości siarki w paliwie oraz poziomu cząstek stałych ("sadzy"), które powstają podczas spalania. Najnowsze badania skupiają się na "biopaliwie" lub inaczej "biodieslu". Jest to paliwo uzyskiwane z oleju roślinnego. Zastosowanie tego typu paliwa ma ogromne pozytywne skutki dla środowiska. Zawartość siarki w takim paliwie jest zerowa, a ponieważ paliwo pochodzi z roślin, cały proces jest neutralny pod względem emisji dwutlenku węgla. Jest on neutralny węglowo, ponieważ rośliny wchłaniają węgiel z atmosfery podczas wzrostu, więc podczas spalania do atmosfery uwalniana jest tylko ta sama ilość węgla, która już istniała. W przeciwieństwie do spalania ropy naftowej, które zwiększa ilość węgla w atmosferze.

# Przeprowadzanie eksperymentów

## Bezpieczeństwo

UWAGA!



**Pod żadnym pozorem nie używaj urządzenia, gdy osłony i elementy zabezpieczające nie znajdują się na swoim miejscu.**

**Nie dotykaj silnika testowego i przewodów odprowadzających spaliny podczas pracy urządzenia. Przed dotknięciem komponentów należy odczekać do ich ostygnięcia.**

**Nie zbliżaj się do wlotu powietrza skrzynki powietrznej podczas pracy silnika testowego.**

**Pod żadnym pozorem nie przeprowadzaj eksperymentów w pojedynkę. Praca z wykorzystaniem tego urządzenia wymaga kontroli nauczyciela lub asysty odpowiednio przeszkolonej osoby.**

**Jeżeli urządzenie nie jest używane w sposób opisany w niniejszej instrukcji, elementy ochronne mogą nie spełniać swojej funkcji.**

UWAGA!



**Wszyscy użytkownicy muszą stosować środki ochrony słuchu i wzroku.**

**Podczas pracy z paliwem lub jego przyłączami należy używać odpowiednich rękawic.**

## Pomocne uwagi

- Eksperymenty należy przeprowadzać w zespołach składających się z co najmniej dwóch osób, z których jedna będzie obsługiwać aparaturę sterującą, a druga będzie notować wyniki.
- Jak to ma miejsce w przypadku pomiarów wykonywanych na pracujących urządzeniach, odczyty parametrów nie będą stałe. Pomiaru należy wykonywać w miarę możliwości dokładnie uśredniając odczyty.

## Eksperyment 1 – Wydajność silnika

1. Napełnij zbiornik paliwa paliwem właściwym dla danego silnika testowego.
2. Jeżeli system odprowadzania spalin w laboratorium zawiera syfon wodny (kondensatu), przed użyciem silnika testowego należy się upewnić, że jest on opróżniony.
3. Powoli pociągnij za uchwyt rozruchowy silnika testowego, aż poczujesz, że przekroczył on suw sprężania i można go łatwo obrócić. Pozwól, aby uchwyt startowy powrócił do pozycji wyjściowej.
4. Delikatnie wstrząśnij dynamometrem, a następnie naciśnij przycisk oznaczony "Press and hold to zero" na wyświetlaczu momentu obrotowego i prędkości. Spowoduje to wyzerowanie odczytu momentu obrotowego.
5. Naciśnij i przytrzymaj przycisk oznaczony "Zero airbox pressure" na module DPT1. 5. Po zwolnieniu przycisku, ciśnienie różnicowe jest wyzerowane.
6. Otwórz oba zawory na wskaźniku poziomu paliwa - (przekręć zawory tak, aby znajdowały się w linii z przewodem paliwowym).
7. Upewnij się, że paliwo przedostało się przez przewód paliwowy do silnika testowego.

8. Jeżeli używany jest system akwizycji danych VDAS firmy TecQuipment, upewnij się, że komputer jest uruchomiony, a oprogramowanie zostało włączone.
9. Odkręć zasilanie wodą dynamometru. Otwórz zawór kontrolny o pół obrotu. Całkowicie otwórz zawór wylotowy wody. Upewnij się, że woda przepływa przez dynamometr.



*Pod żadnym pozorem nie należy używać dynamometru bez przepływu wody. Jeżeli dynamometr jest eksploatowany w ten sposób, może dojść do uszkodzenia uszczelek.*

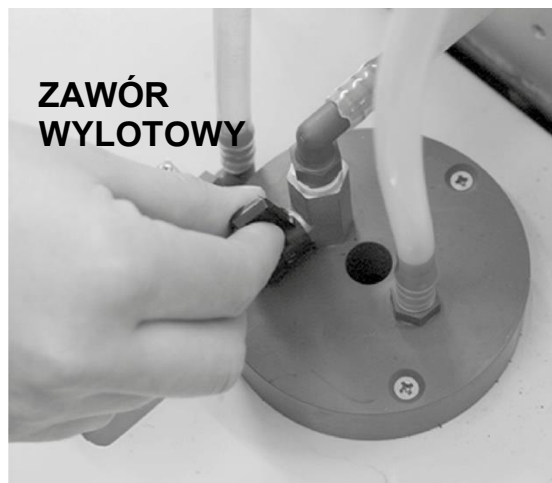
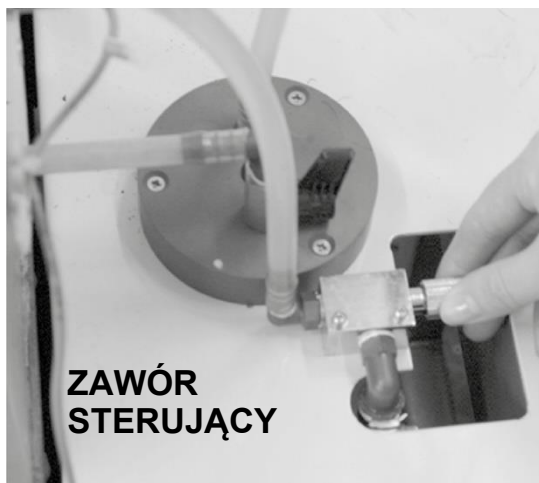
10. Przeprowadź rozruch silnika testowego zgodnie z instrukcją dostarczaną przez producenta lub instrukcją obsługi dostarczoną wraz z silnikiem testowym firmy TecQuipment.
11. Zaczekaj, aż silnik osiągnie normalną temperaturę pracy.
12. Regulując ustawienie przepustnicy silnika testowego (lub mechanizmu zębatkowego) ustaw maksymalną prędkość obrotową silnika.
13. Regulując pozycję zaworu sterującego dynamometru, należy zwiększyć obciążenie silnika testowego przez co zmniejszyć jego prędkość obrotową do punktu najniższej stabilnej pracy. Może być konieczne lekkie przymknięcie zaworu wylotowego wody i dokładne wyregulowanie zaworu regulacyjnego, aby zapewnić jak najlepsze wyniki.



*Większa ilość wody w dynamometrze = większe obciążenie*

*Przepływająca woda odbiera ciepło z dynamometru.*

*Nigdy nie zamykaj całkowicie zaworu wylotowego.*



*Rys. 36 Wyreguluj pozycję zaworu sterującego i wylotowego, aby zapewnić jak najlepsze wyniki*

14. Sporządź pustą tabelę pomiarową dla silnika, zgodnie z opisem zawartym w instrukcji obsługi urządzenia dołączonej do każdego silnika testowego firmy TecQuipment.
15. Za pomocą zaworu sterującego dynamometru utrzymuj prędkość obrotową silnika w punkcie najniższej stabilnej pracy w zakresie +/- 100 obr./min. Zanotuj zużycie paliwa testowanego silnika.

Używając manualnego objętościowego miernika zużycia paliwa (AVF1):

Zamknij zawór wlotowy paliwa i za pomocą stopera zmierz czas, w którym następuje spuszczenie 8 ml paliwa (patrz rys. 37). Ponownie otwórz zawór wlotowy przed całkowitym zużyciem paliwa znajdującego się w silniku.

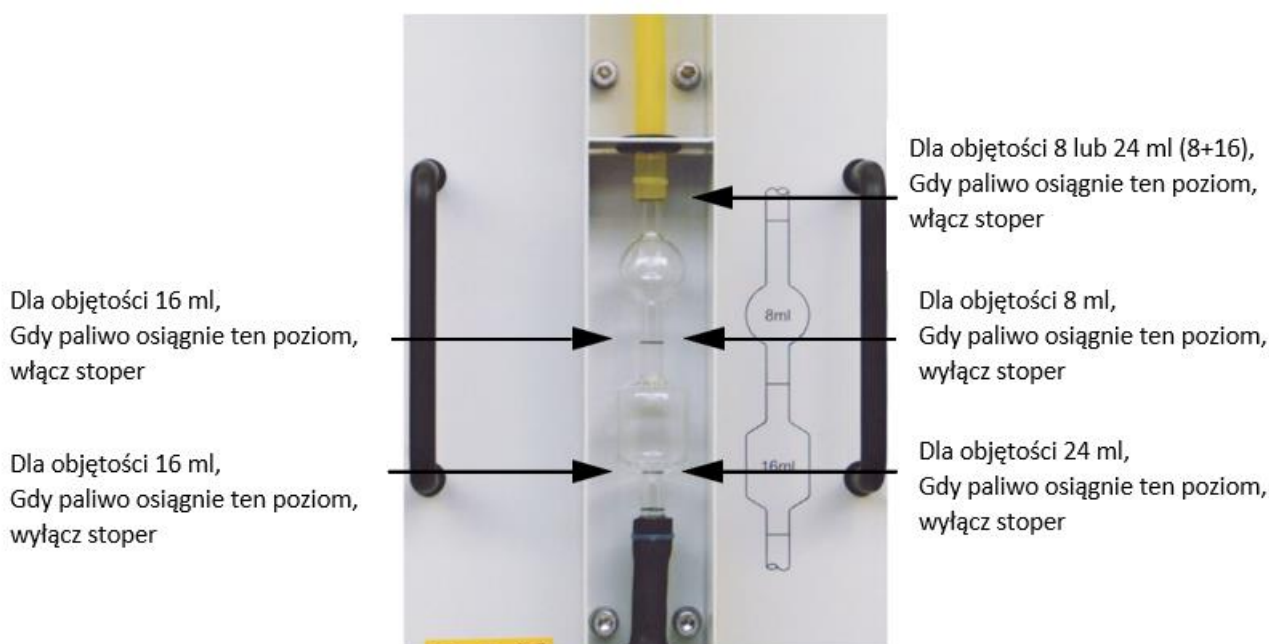
Używając automatycznego objętościowego miernika zużycia paliwa (DVF1):

Przed zapisaniem obliczonego natężenia przepływu należy odczekać aż miernik paliwa wykona co najmniej dwa pełne cykle. Dzięki temu uzyskuje się optymalną dokładność - jeden cykl może wydawać się wystarczający, ale mógł się rozpocząć przed ustabilizowaniem się prędkości obrotowej silnika, stąd sugeruje się dwa cykle. Zasada ta obowiązuje również w przypadku korzystania z systemu VDAS.

16. Zapisz wszystkie wyniki zgodnie z opisem zawartym w pustej tabeli pomiarowej.
17. Regulując przepływ wody przez dynamometr, należy zwiększyć prędkość obrotową silnika o około 250 obr./min. Ponownie należy użyć zaworu sterującego dynamometru, aby utrzymać prędkość obrotową i zanotować natężenie przepływu paliwa i inne wyniki zgodnie z tabelą wyników.
18. Pomiary należy powtórzyć dla pozostałych wartości prędkości obrotowej (do osiągnięcia wartości maksymalnej) w krokach co około 250 obr/min.



*Aby silnik służył przez dłuższy czas, nie powinien pracować zbyt długo na wysokich obrotach.*



Rys. 37 Używanie miernika AVF-1

## Eksperyment 2 – Metoda Willans Line (Stała prędkość obrotowa)



*Ten eksperyment ma zastosowanie tylko dla silników bez przepustnicy (większość silników diesla z wtryskiem paliwa).*

1. Przeprowadź rozruch silnika testowego do osiągnięcia normalnej temperatury roboczej jak w **Eksperyment 1 – Wydajność Silnika**.
2. Sprowadź parametry pracy silnika testowego do punktu minimalnej stabilnej pracy przy najniższym ustawieniu mechanizmu zębatkowego i przy bardzo małym obciążeniu dynamometru. Zanotuj prędkość obrotową silnika.
3. Zanotuj zużycie paliwa oraz moc wyjściową i prędkość obrotową silnika.
4. Ostrożnie zwiększ ustawienie mechanizmu zębatkowego na co najmniej dwóch innych pozycjach, aż do uzyskania maksymalnej ciągłej (regulowanej) mocy silnika. Przy każdym ustawieniu należy wyregulować obciążenie dynamometru, aby prędkość obrotowa powróciła do wartości zarejestrowanej w kroku 2 oraz zanotować zużycie paliwa, moc wyjściową i prędkość obrotową silnika.

Uwaga



*Przy korzystaniu z oprogramowania systemu akwizycji danych VDAS, trzeba zanotować jedynie zużycie paliwa i wartość Średniego ciśnienia użytecznego (BMEP).*

## Wyłączanie urządzenia

1. Szczegóły dotyczące zatrzymania silnika znajdują się w instrukcji obsługi silnika testowego.
2. Zamknij zawór na przewodzie doprowadzającym paliwo.
3. Wyłącz zasilanie wody dynamometru.
4. Wyłącz zasilanie elektryczne ramy aparatury pomiarowej.

## Analiza wyników – Wydajność silnika

1. Na podstawie wyników należy obliczyć masowe natężenie przepływu powietrza (oprogramowanie TecQuipment dokonuje tego automatycznie) i wykreślić krzywe zmiennych silnika w zależności od prędkości. Dla celów porównawczych, lepiej jest wykreślić wszystkie zmienne na jednym wykresie lub kilka wykresów o podobnej skali. Zmiennymi silnikowymi są:

- Temperatura gazów wylotowych (spalin)
- Moment obrotowy
- Moc
- Stosunek powietrze/paliwo
- Jednostkowe zużycie paliwa
- Sprawność objętościowa
- Sprawność cieplna

Uwaga



Na wykresach należy zignorować znak (-) przy wartości momentu obrotowego.

2. Przyjrzyj się krzywym mocy i sprawności. Jaka jest przybliżona optymalna prędkość obrotowa dla silnika?
3. Dla każdej prędkości obrotowej oblicz średnie ciśnienie użyteczne hamowania (BMEP). Wykorzystując wartość BMEP porównaj wyniki z innymi silnikami testowymi.

## Analiza wyników – Metoda Willans Line

1. Na podstawie wyników oblicz wartość średniego ciśnienia użytecznego (BMEP) silnika dla każdego ustawienia mechanizmu zębatkowego.
2. Wyrysuj krzywą zużycia paliwa (oś pionowa) względem wartości BMEP (oś pozioma).
3. Przedłuż linię trendu charakterystyki w lewą stronę, aż przetnie oś poziomą. Punkt ten będzie przybliżoną wartością strat spowodowanych tarcieniem - FMEP (frictional mean effective pressure).

## Wyniki eksperymentów

Szczegółowe wyniki pomiarów można znaleźć w instrukcjach obsługi firmy TecQuipment dostarczonych wraz z silnikami testowymi.

## **Eksperyment 3 – Bilans energetyczny**

### ***Cel eksperymentu***

Określenie bilansu energetycznego silnika testowego i oszacowanie strat.

Uwaga



*Do przeprowadzenia tego eksperymentu niezbędny jest opcjonalny kalorymetr gazów wylotowych (spalin).*

*Przed przeprowadzeniem eksperymentu 1 należy przeprowadzić eksperyment 2.*

### ***Wykonanie***

1. Utwórz trzy puste tabele pomiarowe na wzór Tabeli 4. W przypadku korzystania z systemu VDAS należy wybrać układ TD200. Oprogramowanie automatycznie utworzy tabelę wyników.
2. Włącz aparaturę pomiarową i wyzeruj wszelkie wskazania momentu obrotowego i ciśnienia (oraz wskazania innych przyrządów opcjonalnych).
3. Przeprowadź rozruch silnika testowego jak w eksperymencie 1.
4. Ustaw parametry pracy silnika dla optymalnej prędkości obrotowej (na podstawie eksperymentu 1).
5. Odczekaj parę minut, aż parametry pracy silnika ustabilizują się.
6. Zapisz wyniki zgodnie z tabelą pomiarową (lub wykorzystaj system VDAS).
7. Powtórz eksperyment przy prędkości obrotowej o około 250 obr/min wyższej niż optymalna.
8. Powtórz eksperyment przy prędkości obrotowej o około 250 obr/min niższej niż optymalna.

### ***Analiza wyników***

1. Dla każdego zestawu wyników oblicz:
  - Masowe natężenie przepływu powietrza i paliwa
  - Entalpię gazów wylotowych (spalin)
  - Entalpię powietrza wlotowego
  - Ciepło spalania
  - Ciepło utracone w spalinach
  - Jednostkowe zużycie paliwa
2. Sporządź trzy tabele podobne do Tabeli 5. Dla każdego z uzyskanych wyników zsumuj straty ciepła w spalinach i moc mechaniczną. Odejmij je od ciepła spalania, aby określić pozostałe straty.
3. Na podstawie tabel stwórz wykresy kołowe wartości energii wyjściowych jako wartości procentowe energii wejściowej. Co jest widoczne w przypadku strat przy wyższych i niższych prędkościach obrotowych niż optymalna prędkość obrotowa silnika?
4. Co może składać się na "pozostałe straty"? Czy można przeprowadzić dodatkowe eksperymenty, aby określić przynajmniej jedno z nich?



Zmienna	Wartość wyświetlana:	Wartość w jednostce podstawowej:
Data:		
Ciśnienie otoczenia:	mbar	Pa
Temperatura otoczenia:	°C	K
Typ silnika:		
Paliwa (wartość opałowa):		J/kg
Prędkość obrotowa:		Obr/min
Moment obrotowy:		Nm
Moc mechaniczna:		W
Temperatura spalin:	°C	K
Natężenie przepływu powietrza:	ml/min	kg/s
Natężenie przepływu powietrza:	$\Delta p$ (Pa)	kg/s
Natężenie przepływu wody chłodzącej:	l/min	kg/s
Temperatura wody chłodzącej na wlocie:	°C	K
Temperatura wody chłodzącej na wylocie:	°C	K
Temperatura spalin na wylocie z kalorymetru:	°C	K
Temperatura spalin na wlocie do kalorymetru:	°C	K

Tabela 4 Tabela danych pomiarowych

Energia wejściowa		Energia wyjściowa	
Ciepło spalania =		Energia mechaniczna =	
		Ciepło utracone w spalinach =	
		Pozostałe straty =	
Suma:		Suma:	

Tabela 5 Bilans energetyczny

Uwaga



Przykładowe wyniki pomiarów można znaleźć w oddzielnej instrukcji obsługi silnika testowego.

## **Dalsze eksperymenty z wykorzystaniem kalorymetru**

Przy stałej prędkości obrotowej silnika reguluj natężenie przepływu wody przez kalorymetr od 1 do 5 l/min. Jaki ma to wpływ na pozostałe parametry?

# Przydatna literatura

'Engine Testing - Theory and Practice' - Second Edition

by Michael Plint and Anthony Martyr

Published by Butterworth Heinemann

ISBN 0-7506-4021-9

**'Basic Engineering Thermodynamics'** - Fifth Edition

by Rayner Joel

Published by Longman

ISBN 0-582-25629-1

**'Engineering Thermodynamics'** - Third Edition

by G.F.C Rogers and Y.R Mayhew

Published by the English Language Book Society/Longman

ISBN 0-582-02704-7

'Energy Conversion'

by Kenneth Weston

Free online book, available from [www.personal.utulsa.edu/~kenneth-weston](http://www.personal.utulsa.edu/~kenneth-weston)



# Konserwacja

## Ogólna

Regularnie sprawdzaj wszystkie części pod kątem uszkodzeń, a w razie potrzeby wymień je na nowe.

Gdy urządzenie nie jest używane, należy przechowywać je w suchym, wolnym od pyłu miejscu, najlepiej przykrytym folią ochronną. Paliwo należy przechowywać w odpowiednim zbiorniku - stosować się do lokalnych przepisów.

Jeśli urządzenie zabrudzi się, należy przetrzeć jego powierzchnię wilgotną, czystą szmatką. Nie należy używać środków czyszczących o właściwościach ściernych. Regularnie sprawdzaj wszystkie mocowania i połączenia śrubowe pod kątem szczelności, w razie potrzeby wyreguluj je.

Uwaga



*Wadliwe lub uszkodzone części należy wymienić na części tego samego typu lub o tej samej klasie.*

## Silniki testowe

Przed każdym użyciem należy sprawdzić poziom oleju w silniku testowym. W razie potrzeby uzupełnić.

Silniki testowe nie są używane przez długie okresy czasu, tak jak w rzeczywistych warunkach eksploatacji, ale są używane na granicy swoich możliwości, dlatego też należy regularnie przeprowadzać ich konserwację. Szczegółowe informacje na temat obsługi technicznej silnika testowego znajdują się w podręczniku producenta (dołączony do zestawu).

## Układ odprowadzania spalin i kalorymetr

Jeśli w układzie odprowadzania spalin znajduje się syfon wodny (kondensatu), należy odprowadzić wodę przed każdym użyciem urządzenia.

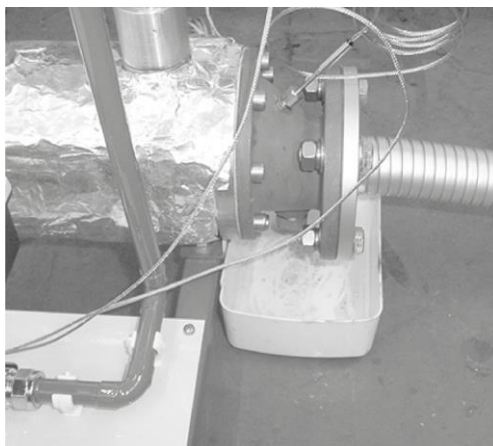
Po każdym użyciu, pod otworem odpływu skroplin z kalorymetru należy umieścić małe naczynie (zob. rysunek 38). Poczekać, aż układ odprowadzania spalin ostygnie i delikatnie przechyli kalorymetr w celu odprowadzenia kondensatu. Skropliny należy zutylizować w odpowiedni sposób.

UWAGA!



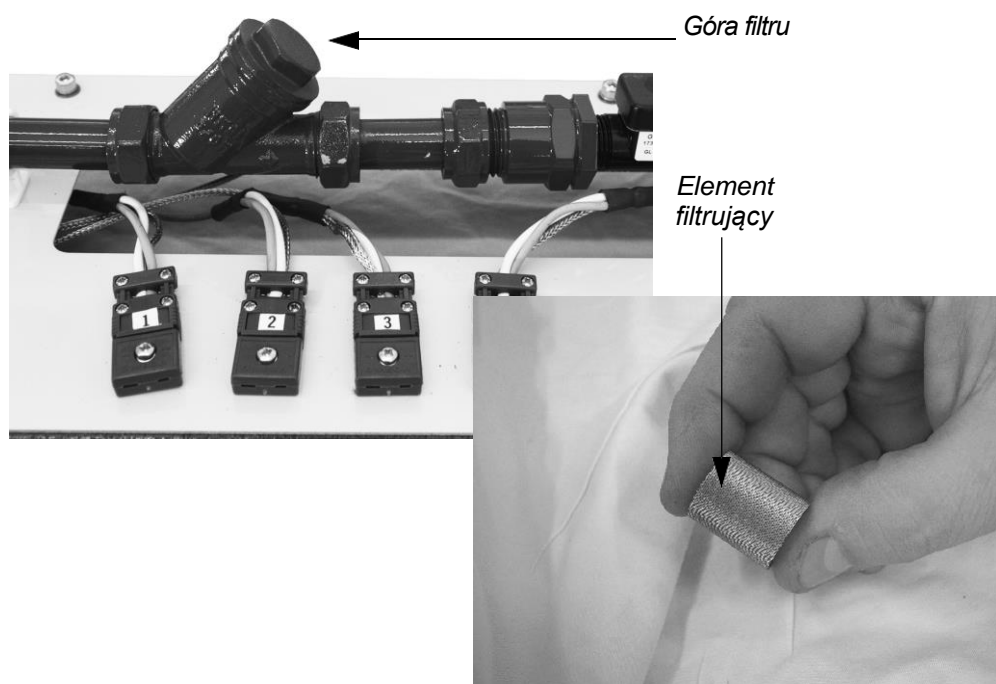
*Przed rozpoczęciem pracy przy kondensacie spalin należy założyć odpowiednie rękawice, ponieważ jest to substancja trująca i żrąca.*

*Skropliny spalin należy zutylizować w odpowiedni sposób - postępując zgodnie z lokalnymi przepisami.*



Rys. 38 Umieszczenie naczynia pod otworem spustowym kondensatu

### **Filtr wody kalorymetru (TDX00a)**



Rys. 39 Wyjmij element filtrujący i oczyść go

Raz w roku lub częściej, jeśli zauważy się spadek natężenia przepływu przez kalorymetr, należy sprawdzić i wyczyścić filtr wody.

W tym celu:

1. Należy odłączyć zasilanie elektryczne i wodne od stanowiska pomiarowego.
2. Pozwolić, aby woda wypłynęła z kalorymetru.
3. Do odkręcenia górnej części filtra należy użyć klucza płaskiego.

4. Delikatnie wyjmij element filtrujący i oczyść go wewnątrz i na zewnątrz czystą wodą i miękką szczotką. Przed ponownym montażem należy upewnić się, że jest on dokładnie wyczyszczony, w przeciwnym razie może dojść do uszkodzenia czujnika przepływu.
5. Jeśli element filtrujący jest bardzo brudny, należy sprawdzić dopływ wody do sieci i usunąć wszelkie problemy mogące powodować zanieczyszczenie. Należy rozważyć montaż filtra w sieci wodociągowej.
6. Włóż na miejsce element filtrujący i ponownie przykręć górną część filtra.

## Elektryczna

**UWAGA!**



***W urządzeniach tego typu stosuje się wysoce łatwopalne paliwa. Aby zmniejszyć ryzyko pożaru lub wybuchu, zawsze należy odłączyć zasilanie elektryczne przed wykonaniem jakiegokolwiek konserwacji elektrycznej.***

***Tylko osoba wykwalifikowana może przeprowadzać konserwację elektryczną.***

***Należy przestrzegać następujących zasad:***

- Należy założyć, że urządzenie jest pod napięciem do momentu, gdy wiadomo, że jest odłączone od zasilania elektrycznego.
- Tam, gdzie istnieje możliwość wystąpienia zagrożeń elektrycznych, należy stosować narzędzia izolowane.
- Upewnij się, że obwód uziemiający urządzenia jest sprawny.
- Przed zresetowaniem należy zidentyfikować przyczynę zadziałania wyłącznika nadprądowego lub bezpiecznika.

### ***W celu wymiany bezpiecznika***

- Należy odłączyć urządzenie od zasilania elektrycznego.
- Wymienić bezpiecznik.
- Podłączyć ponownie urządzenie do zasilania elektrycznego i włączyć je.
- W przypadku ponownej awarii urządzenia należy skontaktować się z firmą TecQuipment Ltd. lub jej lokalnym przedstawicielem w celu uzyskania porady.

**Uwaga**



***Wadliwe lub uszkodzone części oraz rozłączane przewody, należy wymienić na inne tego samego typu lub o takich samych parametrach.***

### ***Umiejscowienie bezpieczników***

Na ramie aparatury pomiarowej znajduje się jeden bezpiecznik, zlokalizowany na wejściu gniazd IEC z tyłu ramy.

Z tyłu każdego modułu pomiarowego znajduje się jeden bezpiecznik (za wyjątkiem manualnego objętościowego miernika zużycia paliwa).

Wszystkie bezpieczniki są częścią gniazd IEC. Do otwarcia wkładek bezpiecznikowych należy użyć małego płaskiego śrubokręta.





## Części zamienne i obsługa klienta

Zweryfikuj Listę Zawartości Opakowania, aby dowiedzieć się, jakie części zamienne zostały dostarczone wraz z urządzeniem.

Jeśli potrzebujesz wsparcia technicznego lub części zamiennych, zalecany jest kontakt z lokalnym przedstawicielem firmy TecQuipment lub bezpośrednio z firmą TecQuipment.

W ramach zapytań o części zamienne prosimy o zawarcie następujących informacji:

- Imię i nazwisko osoby kontaktowej
- Pełny adres i nazwa uczelni, firmy, instytucji
- Adres e-mail
- Nazwę produktu TecQuipment i jego kod towarowy
- Numer katalogowy części zamiennej (jeśli znany)
- Numer seryjny
- Rok dokonania zakupu urządzenia (jeśli znany)

Prosimy o przekazanie nam możliwie jak największej ilości, jak najbardziej szczegółowych informacji na temat części, problemu, a także o przeanalizowanie zapytania przed przesłaniem go do nas.

Jeśli okres gwarancyjny, któremu podlegał produkt uległ przedawnieniu, firma TecQuipment przygotuje dla klienta stosowną wycenę.

## Obsługa klienta

Mamy nadzieję, że są Państwo zadowoleni z naszych produktów i instrukcji. W razie jakichkolwiek pytań prosimy o kontakt z biurem obsługi klienta firmy TecQuipment:

Tel. (GB): +44 115 972 2611

email: **customer.care@tecquipment.com**

Lub z lokalnym dystrybutorem. W Polsce firma TecQuipment reprezentowana jest przez:  
MGS Nauka Sp. z o.o.

email: **info@mgs-nauka.com**

Tel. **+48 (12) 353-83-00**

Więcej informacji na temat produktów firmy TecQuipment:

<https://www.tecquipment.com/>  
<http://www.pomoce-dydaktyczne.eu/>

