

TD1005

**Stanowisko do badania
konwekcji swobodnej
i wymuszonej**

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 możliwe 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		Ważna informacja.
UWAGA		Nieprzestrzeganie tej uwagi może spowodować uszkodzenie urządzenia, innych elementów instalacji bądź mienia lub może mieć negatywny wpływ na środowisko.
UWAGA!		Nieprzestrzeganie tej uwagi może spowodować powstanie niebezpieczeństwa dla zdrowia lub życia!

Spis treści

Wprowadzenie.....	4
Opis stanowiska	5
Jednostka podstawowa.....	5
Powierzchnie wymiany ciepła	7
System akwizycji danych VDAS®	10
Specyfikacja techniczna.....	11
Jednostka podstawowa i kanał powietrzny	11
Moduły powierzchni wymiany ciepła.....	12
Hałas	12
Montaż i instalacja	13
Umieszczenie i montaż	13
Przygotowanie stanowiska do pracy	17
Podłączenie do zasilania	17
Podłączenie do systemu VDAS®	17
Wstęp teoretyczny	18
Oznaczenia	18
Wymiana ciepła przez przewodzenie, promieniowanie i konwekcję	19
Przewodność cieplna powietrza (k_{pow}).....	20
Porównanie natężenia przepływu powietrza i spadku ciśnienia	21
Moc elektryczna, ilość ciepła i współczynnik przenikania ciepła	22
Opóźnienie i gradient temperaturowy.....	22
Bezwładność cieplna (masa termiczna)	23
Różnice między żebrami poziomymi i pionowymi	24
Konwekcyjny współczynnik przenikania ciepła (h_c).....	24
Liczba Nusselta (Nu).....	24
Zastosowanie opisu teoretycznego do przepływu przez kanał.....	25
Przebieg doświadczeń.....	27
Instrukcje bezpieczeństwa	27
Przydatne wskazówki.....	27
Instrukcja montażu modułu powierzchni wymiany ciepła.....	28
Instrukcja montażu wentylatora	28
Pokrywa magnetyczna	28
Korzystanie z ruchomej sondy pomiarowej	29
Używanie sondy powierzchni wymiany ciepła.....	29

Doświadczenie 1: Konwekcja swobodna – stała moc grzałki	30
Doświadczenie 2: Konwekcja swobodna – szybkie porównanie	32
Doświadczenie 3: Konwekcja swobodna – zależność temperatury od mocy grzałki	34
Doświadczenie 4: Konwekcja wymuszona – stała moc grzałki	36
Doświadczenie 5: Konwekcja wymuszona – opór przepływu powietrza	38
Doświadczenie 6: Rozkład temperatury wzdłuż powierzchni	39
Doświadczenie 7: Konwekcja wymuszona – wpływ prędkości	41
Doświadczenie 8: Współczynnik przenikania ciepła i liczba Nusselta.....	43
Doświadczenie 9: Konwekcja swobodna dla powierzchni poziomej i pionowej	47
Przykładowe wyniki pomiarów.....	50
Doświadczenie 1: Konwekcja swobodna – stała moc grzałki	50
Doświadczenie 2: Konwekcja swobodna – szybkie porównanie	51
Doświadczenie 3: Konwekcja swobodna – zależność temperatury od mocy grzałki	52
Doświadczenie 4: Konwekcja wymuszona – stała moc grzałki	53
Doświadczenie 5: Konwekcja wymuszona – opór przepływu powietrza	53
Doświadczenie 6: Rozkład temperatury wzdłuż powierzchni	54
Doświadczenie 7: Konwekcja wymuszona – wpływ prędkości	55
Doświadczenie 8: Współczynnik przenikania ciepła i liczba Nusselta.....	56
Doświadczenie 9: Konwekcja swobodna dla powierzchni poziomej i pionowej	58
Literatura naukowa	59
Konserwacja części zamienne oraz obsługa klienta	60
Konserwacja.....	60
Części zamienne.....	61
Obsługa klienta	61

Instrukcja obsługi

Wprowadzenie



Rys. 1. Stanowisko do badania konwekcji swobodnej i wymuszonej (TD1005)

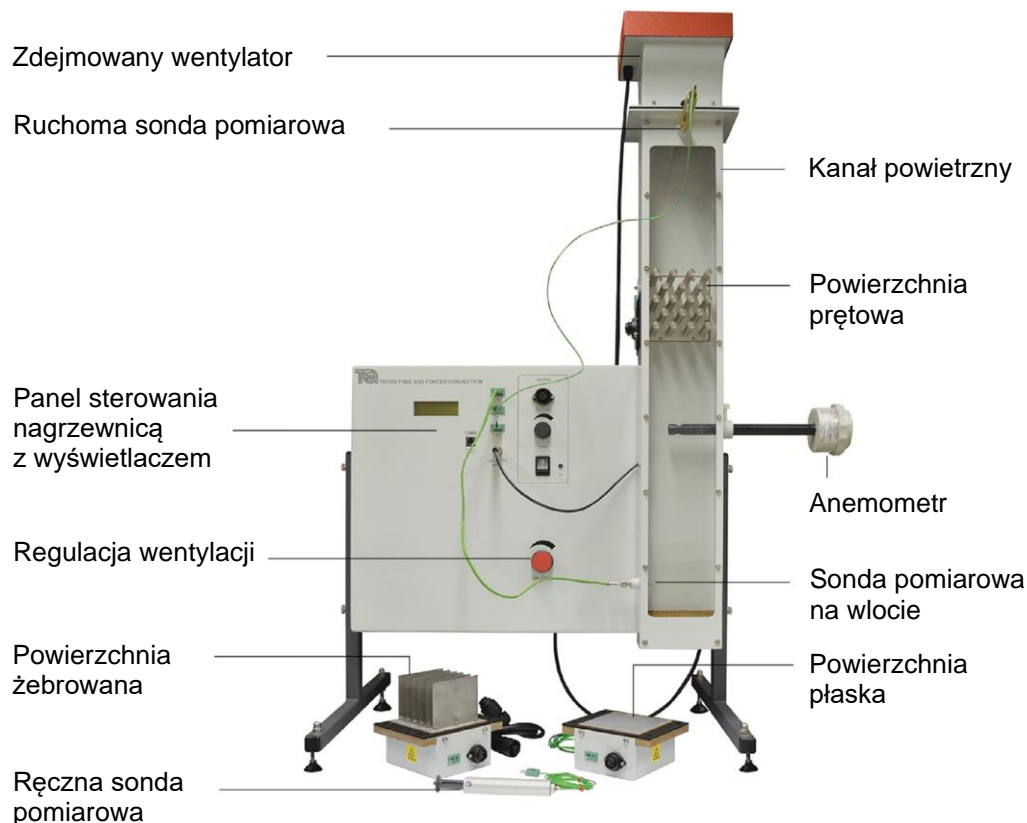
VDAS Ten produkt współpracuje z systemem VDAS®

Inżynierowie uczący się o termodynamice i wymianie ciepła muszą wiedzieć, jak różne powierzchnie i kształty przewodzą ciepło. Informacje te można później wykorzystać do przewidzenia, jak energia cieplna będzie przewodzona przez powierzchnie zaprojektowanych przez nich urządzeń i jakie rozwiązanie będzie najlepsze do wybranego celu. Stanowisko do badania konwekcji swobodnej i wymuszonej firmy TecEquipment pokazuje uczniom, jak ciepło odprowadzane jest z trzech różnych powierzchni w sposób samoistny, jak i wymuszony.

Urządzenie współpracuje z systemem VDAS® (ang. Versatile Data Acquisition System) firmy TecEquipment, co umożliwi automatyczny zapis wyników eksperymentów i zaoszczędzenie czasu wykonywania badań.

VDAS® jest zastrzeżonym znakiem towarowym firmy TecEquipment Ltd.

Opis stanowiska



Rys. 2. Opis stanowiska do badania konwekcji swobodnej i wymuszonej (TD1005)

Jednostka podstawowa

Jednostkę podstawową stanowi kompaktowa rama do montażu na stole warsztatowym, którą podłącza się do odpowiedniego źródła zasilania elektrycznego. Posiada ona pionowy zespół kanałów oraz główny panel sterowania z elektrycznymi elementami sterującymi i wyświetlaczem.

Każdą z trzech powierzchni wymiany ciepła dołączonych do zestawu można zamocować do tylnej części pionowego kanału, nieco powyżej połowy jego wysokości.

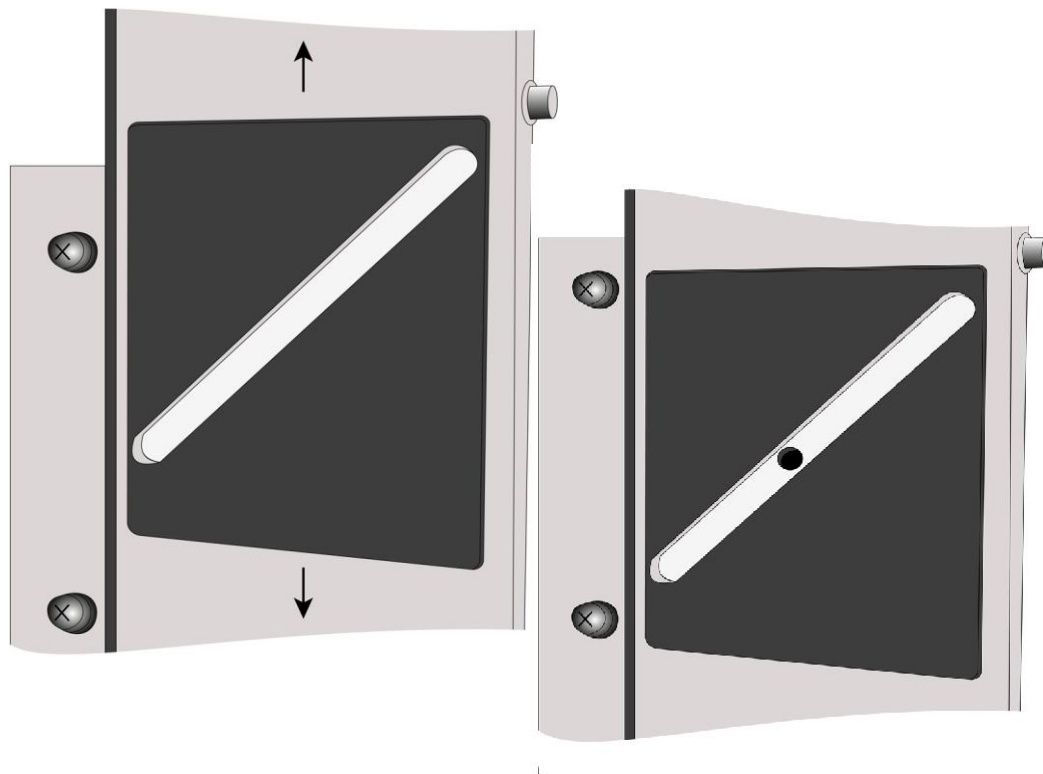
Uwaga



Stanowisko umożliwia badanie tylko jednej powierzchni w tym samym czasie.

Pionowy kanał pozwala na przepływ powietrza nad powierzchnią wymiany ciepła, zarówno poprzez konwekcję swobodną, jak i wymuszoną przez wentylator elektryczny o regulowanej prędkości obrotów, który można zamocować w górnej części kanału. Stała sonda termoparowa mierzy temperaturę powietrza wlotowego (otoczenia) na dole kanału. Natomiast druga sonda została umieszczona w przesuwym mechanizmie, który umożliwia wykonanie pomiaru w różnych punktach na głębokości (przód/tył) kanału i uzyskanie rozkładu temperatury na wlocie. Dzięki takiej konfiguracji, studenci mogą zebrać dane nawet dla bardziej zaawansowanych obliczeń. Prócz tego stanowisko zostało wyposażone w anemometr mierzący prędkość przepływu powietrza w kanale.

Każda powierzchnia wymiany ciepła posiada wbudowaną termoparę do pomiaru jej temperatury. W skład wyposażenia wchodzi także ręczna sonda termoparowa do pomiaru rozkładu ciepła wzdłuż powierzchni żeber oraz prętów. Użytkownik umieszcza końcówkę sondy w wybranych sześciu równomiernie rozmieszczonych otworach z boku kanału (patrz dane techniczne dotyczące odległości). Magnetyczna osłona pozwala na ich całkowite zakrycie lub wykorzystanie w danym momencie tylko jednego, redukując konwekcję błądzącą przez pozostałe otwory pomiarowe.



Rys. 3. Osłona magnetyczna

Jednostka podstawowa dostarcza bezpieczne, niskonapięciowe zasilanie dla grzałki (źródła ciepła), zamontowanej w każdej z wymiennych powierzchni wymiany ciepła oraz regulowane zasilanie wentylatora znajdującego się u góry kanału. Termopary w kanale oraz na powierzchni wymiany ciepła podłącza się do gniazd z przodu panelu sterowania. W przypadku eksperymentów z rozprzestrzenianiem się ciepła, sondę ręczną użytkownik podłącza do dowolnego nieużywanego gniazda termopary (w tym eksperymencie nie są wszystkie używane). Wyświetlacz na panelu kontrolnym pokazuje moc elektryczną dostarczaną do grzałki powierzchni wymiany ciepła, prędkość przepływu powietrza w kanale oraz temperaturę na każdej z trzech podłączonych termopar.

Gniazdo na panelu kontrolnym umożliwia podłączenie opcjonalnego systemu VDAS[®] firmy TecEquipment w celu akwizycji danych z tego urządzenia przy użyciu komputera z zainstalowanym oprogramowaniem (komputer nie jest częścią zestawu).

Powierzchnie wymiany ciepła

Firma TecEquipment dołącza do stanowiska TD1005 trzy różne powierzchnie wymiany ciepła, które umożliwiają studentom porównanie ich wydajności. Tylna część kanału pozwala na ich szybki i łatwy montaż w kwadratowym otworze. Uszczelka piankowa wokół każdej powierzchni pomaga zredukować konwekcję błądzącą (straty) przymocowanego elementu.

Wszystkie moduły powierzchni wymiany ciepła mają dwie strony:

Odsłonięta strona przednia – ma charakterystyczne jasnoszare wykończenie z czystego metalu. Takie rozwiązanie zapewnia bardziej dokładne wyniki eksperymentów, ponieważ większość wymiany ciepła odbywa się przez konwekcję, a nie promieniowanie (czarna matowa powierzchnia ma większe straty ciepła w wyniku promieniowania). Rozwiązania spotykane w praktyce często łączą wymianę ciepła przez konwekcję jak również promieniowanie, dlatego powierzchnie pokrywa się matową czernią.

Zamknięta strona tylna – posiada grzałkę elektryczną mocowaną powierzchniowo oraz centralnie umieszczoną termoparę. Grzałka wyposażona jest w termiczny wyłącznik bezpieczeństwa, który chroni przed przegrzaniem. Tylna strona jest ponadto otoczona izolacją, która zabezpiecza przed niepotrzebnymi stratami ciepła (mogłyby one wpłynąć także na wyniki eksperymentu).

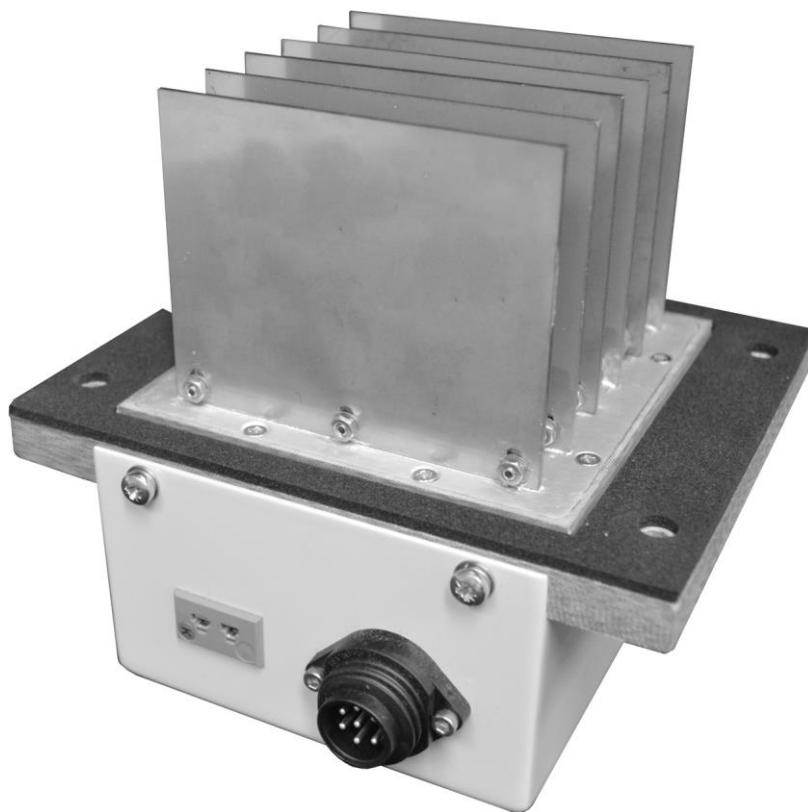
Powierzchnia płaska



Rys. 4. Moduł powierzchni płaskiej

Jest to zwyczajna płaska płyta aluminiowa. W odróżnieniu od dwóch pozostałych modułów, jest ona całkowicie zlicowana z wewnętrzną ścianą kanału i nie posiada żadnych wystających żeber ani prętów, które penetrowałyby strumień powietrza w kanale.

Powierzchnia żebrowana



Rys. 5. Moduł powierzchni żebrowanej

Układ żeber jest powszechnym rozwiązaniem stosowanym między innymi w radiatorach do odprowadzania ciepła z komponentów układów elektrycznych, czy w chłodzonych powietrzem silnikach spalinowych i sprężarkach. Taka konstrukcja skutecznie zwiększa dostępną powierzchnię wymiany ciepła do otaczającego powietrza (lub przechwytywaniu ciepła z otoczenia, jeśli mamy do czynienia z odwrotnym cyklem). Stanowisko umożliwia obserwację konwekcji swobodnej zarówno w pionie (w górę wzdłuż żeber), jak i w poziomie.

Otwory w bocznej ścianie kanału pozwalają użytkownikowi na pomiar temperatury wzdłuż żebrowania i wyznaczenie rozkładu temperatury (ciepła).

Powierzchnia prętowa



Rys. 6. Moduł powierzchni z prętami

Powierzchnia płytowo-prętowa jest typowym rozwiązaniem w konstrukcjach wymienników ciepła, gdzie jeden płyn przepływa przez pręty (zwykle są to wydrążone rury) prostopadle do przepływu innego płynu wokół nich. Energia cieplna cieczy o wyższej temperaturze przepływa do zimniejszej przez powierzchnię walców lub rurek. W rozwiązaniu tym, podobnie jak w konstrukcji żebrowej, dąży się do zwiększenia powierzchni wymiany ciepła do otaczającego płynu lub powietrza (jak w tym eksperymencie).

Otwory w bocznej części kanału pozwalają użytkownikowi na pomiar temperatury wzdłuż prętów i zobaczenie, w jaki sposób rozkłada się na nich temperatura.

System akwizycji danych VDAS®



Rys. 7. Sprzęt i oprogramowanie systemu VDAS®

System VDAS® opracowany przez firmę TecQuipment jest opcjonalnym dodatkiem do stanowiska do badania konwekcji swobodnej i wymuszonej. To produkt, na który składa się zarówno sprzęt jak i oprogramowanie komputerowe umożliwiające:

- automatyczny zapis danych pomiarowych eksperymentu,
- automatyczne obliczenia,
- oszczędność czasu,
- zmniejszenie ryzyka błędów,
- tworzenie wykresów i tabel z danymi,
- eksport danych do przetwarzania w innym oprogramowaniu.

Uwaga



Aby korzystać z systemu VDAS®, potrzebny jest odpowiedni komputer (nie dołączony do zestawu).

Specyfikacja techniczna

Jednostka podstawowa i kanał powietrzny

Nazwa	Opis
Środowisko pracy	Wnętrze pomieszczenia (laboratorium) Wysokość pracy maksymalnie do 2000 m n.p.m. Zakres temperatur od 5°C do 40°C. Maksymalna wilgotność względna przy temperaturze do 31°C wynosi 80%, dla temperatury 40°C dopuszczalna wartość spada do 50%. Zabezpieczenia przeciwprzepięciowe klasy 2 (zgodnie z normą EN61010-1). Stoień zanieczyszczenia środowiska 2 (zgodnie z normą EN61010-1).
Wymiary netto (po złożeniu)	550 mm x 850 mm x 1200 mm (długość x szerokość x wysokość)
Masa netto (po złożeniu)	Jednostka podstawowa: 26 kg (bez modułu powierzchni wymiany ciepła)
Zasilanie elektryczne	Napięcie przemienne jednofazowe 50-60 Hz, 100-120 VAC (1.2 A) lub 220-240 VAC (0.6 A) – określone w zamówieniu.
Bezpiecznik	Ceramiczny typu F, 20 mm, 6.3 A
Przyłącza zewnętrzne	Grzałka, anemometr, termopara i gniazda systemu VDAS® Źródło bardzo niskiego napięcia (<25 VDC) Gniazdo wentylatora (z tyłu stanowiska) z przemiennym napięciem regulowanym w zakresie od 0 VAC do napięcia zasilania sieciowego.
Wejścia termopar	3 typu K Wyświetlacz o rozdzielczości 0.1°C
Wyjście grzałki i wyświetlacz	Moc maksymalna ok. 100 W Wyświetlacz o rozdzielczości 0.1 W
Kanał	Nominalny przekrój wewnętrzny: 128 mm x 75 mm = 0.0096 m ² . Przybliżona długość: 850 mm. Nominalna prędkość powietrza: >3.8 m.s ⁻¹ dla płaskiej płyty, podczas innych eksperymentów normalnie ≤3.5 m.s ⁻¹ . Odległość sondy (od powierzchni wymiany ciepła): 7.5 mm, 19.5 mm, 31.5 mm, 43.5 mm, 55.5 mm i 67.5 mm.
Zakres anemometru	0 - 3.8 m.s ⁻¹

Moduły powierzchni wymiany ciepła

Nazwa	Opis
Powierzchnia płaska	<p>Wymiary netto: 160 mm x 140 mm x 55 mm, masa netto 810 g.</p> <p>Budowa: płyta aluminiowa 3 mm.</p> <p>Powierzchnia całkowita: 106 mm x 106 mm = 0,0112 m².</p> <p>Termopara typu K pod powierzchnią płyty aluminiowej.</p>
Powierzchnia żebrowana	<p>Wymiary netto: 160 mm x 140 mm x 125 mm, masa netto 1227 g.</p> <p>Budowa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - płaska płyta aluminiowa - 106 mm x 106 mm x 3mm, - 6 żeber ze stali nierdzewnej prostopadłych do płyty - 90 mm x 73 mm x 1.5 mm. <p>Powierzchnia całkowita: 0,092 m² (łącznie z końcami żeber).</p> <p>Termopara typu K pod powierzchnią płyty aluminiowej.</p>
Powierzchnia prętowa	<p>Wymiary netto: 160 mm x 140 mm x 125 mm, masa netto 1836 g.</p> <p>Budowa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - płaska płyta aluminiowa - 106 mm x 106 mm x 3mm, - 18 prętów ze stali nierdzewnej prostopadłych do płyty - ø12 mm x 73 mm. <p>Powierzchnia całkowita: 0,027 m² (łącznie z końcami prętów).</p> <p>Termopara typu K pod powierzchnią płyty aluminiowej.</p>

Hałas

Poziom rejestrowanego hałasu przy urządzeniu jest poniżej 70 dB (A).

Montaż i instalacja

Określenia stron: **lewa**, **prawa**, **przód** i **tył** stanowiska są względem operatora stojącego na wprost jednostki podstawowej.

Uwaga



Elementy urządzenia mogły zostać pokryte powłoką woskową w celu ochrony przed korozją podczas transportu. Usuń ją za pomocą parafiny lub benzyny lakowej i pędzla lub szmatki.

Należy przestrzegać wszelkich przepisów dotyczących montażu, instalacji, obsługi i konserwacji w kraju, w którym stanowisko ma być używane.

Umiejscowienie i montaż

Stanowisko do badania konwekcji swobodnej i wymuszonej powinno być użytkowane w czystym, dobrze oświetlonym pomieszczeniu laboratoryjnym lub klasie lekcyjnej. Sprzęt należy umieścić na solidnym, równym stole roboczym, z dala od drzwi, okien i maszyn wentylacyjnych.

Uwaga



Aby uzyskać standardowe, stałe wyniki, zawsze używaj urządzenia w pomieszczeniu o stałej temperaturze około 20°C i jak najmniejszym ruchu powietrza.

UWAGA!



Nie należy wykonywać montażu i przenosić urządzenia w pojedynkę.

Jednostka podstawowa wymaga stołu warsztatowego o wymiarach co najmniej 550 mm x 850 mm. Jeśli korzysta się z opcjonalnego systemu VDAS[®], należy zapewnić na blacie miejsce dla urządzenia VDAS-B oraz komputera.

Firma TecEquipment mogła zdemontować nogi jednostki podstawowej na czas transportu. Użyj dołączonych do zestawu mocowań, aby przykręcić je do boków stanowiska, a następnie wypoziomuj całość korzystając z nakrętek do regulacji.



Rys. 8. Montaż nóg

Złożenie kanału i mocowanie sond kanałowych

Zespół kanałowy, ruchoma sonda pomiarowa i wentylator mogły zostać rozebrane na czas transportu.

W celu ich ponownego połączenia:

1. Umieść jednostkę podstawową na biurku lub stole warsztatowym.
2. Ostrożnie przytrzymaj kanał, dopasowując do siebie cztery otwory mocujące z przodu, po prawej stronie jednostki podstawowej. Włóż cztery podkładki z włókna między mocowania kanału i jednostkę bazową (patrz rys. 9).
3. Za pomocą nakrętek dołączonych do zestawu przymocuj kanał do jednostki podstawowej. Następnie podłącz krótki przewód uziemiający z kanału do kołka uziemiającego jednostki podstawowej.
4. Wsuń sondę anemometru do gniazda w kanale tak, aby otwór w końcówce przewodu pokrywał się z kierunkiem przepływu powietrza i znalazł się na środku kanału (patrz rys. 11).

Uwaga



Na końcu anemometr może mieć strzałkę wskazującą kierunek przepływu powietrza. Upewnij się, że jest skierowana ku górze.

5. Jeśli wentylator nie został jeszcze zamontowany, pozostaw go w pobliżu, aż będzie potrzebny do przeprowadzenia jednego z eksperymentów (instrukcja montażu została umieszczona w rozdziale opisującym te doświadczenie).
6. Za pomocą płaskiego śrubokręta i dużej śruby (z wywierconym kanałem przelotowym) przymocuj ruchomą sondę pomiarową (rys. 12).
7. Ostrożnie wsuń sondę do kanałika przelotowego i dokręć palcami śrubkę z plastikową główką (rys. 13).
8. Włóż całkowicie sondę pomiarową wlotu kanału (patrz rys. 2) do jego wnętrza (tak, aby końcówka znalazła się w odległości około 20-25 mm od ścianki). Upewnij się, że złącze zaciskowe zostało zablokowane.
9. Podłącz przewód z kanału wlotowego do gniazda oznaczonego jako T1 na przednim panelu urządzenia.

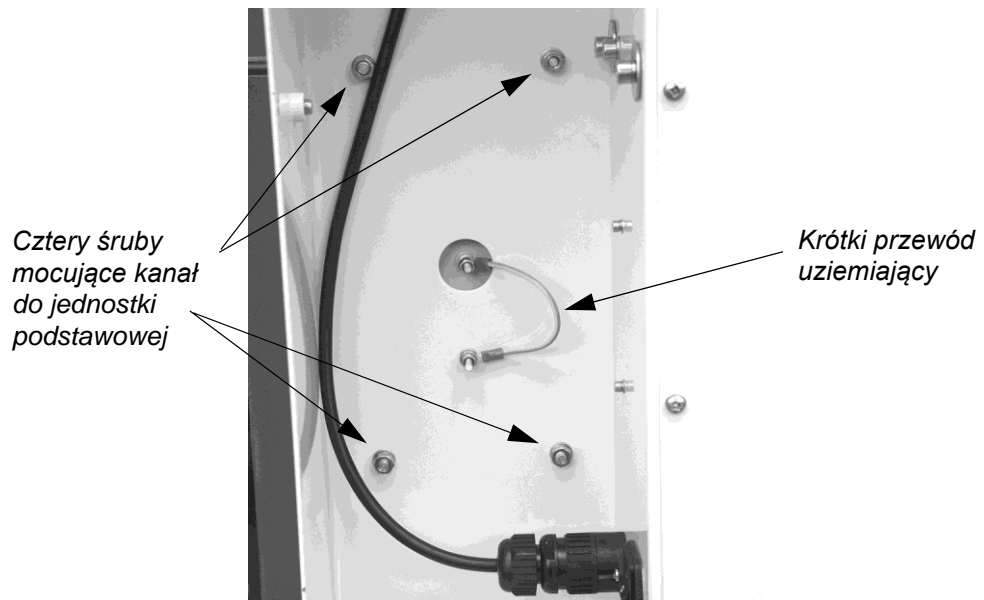
UWAGA



Nie należy regulować niewielkiej śruby dociskowej, która utrzymuje nylonową tuleję sondy (patrz rys. 13). Producent ustawia ją w celu prawidłowej kalibracji położenia sondy.



Rys. 9. Montaż podkładek



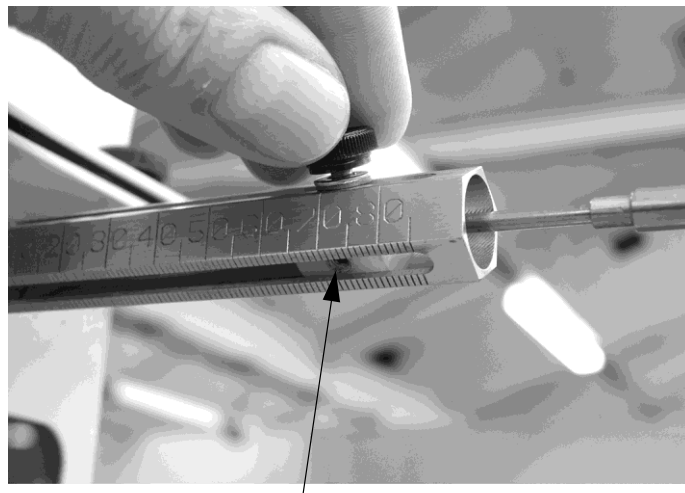
Rys. 10. Widok na tylną stronę kanału



Rys. 11. Montaż anemometru



Rys. 12. Mocowanie ruchomej sondy pomiarowej z pomocą śrubokrętu



Nie dokręcaj tej śruby

Rys. 13. Montaż sondy i dokręcenie palcami śruby z plastikową główką

Przygotowanie stanowiska do pracy

1. Skorzystaj z pomocy drugiej osoby, aby umieścić zmontowaną jednostkę podstawową na stole roboczym.

UWAGA!



Złożone stanowisko jest bardzo ciężkie (zobacz dane w specyfikacji technicznej). Montaż i przenoszenie stanowiska należy wykonywać z czyjąś pomocą.

2. Jeśli posiadasz opcjonalny system VDAS[®], umieść oprzyrządowanie VDAS-B na stole warsztatowym i podłącz zgodnie z instrukcją: „Podłączenie do systemu VDAS”.
3. Podłącz przewód elektryczny z tyłu jednostki podstawowej do źródła zasilania (patrz do rozdziału „Podłączenie do zasilania”).
4. Dopasuj moduł powierzchni wymiany ciepła zgodnie z instrukcją przeprowadzania doświadczeń.
5. Jeśli to konieczne, zamontuj wentylator na górze kanału (jak opisano w instrukcji doświadczenia).
6. Ponownie zweryfikuj, czy urządzenie jest wypoziomowane, a kanał idealnie w pozycji pionowej.
7. Stanowisko jest teraz gotowe do użycia.

Uwaga



W instrukcji doświadczeń zostało opisane, które sondy pomiarowe należy podłączyć i gdzie, więc można je pozostawić niepołączone do czasu, gdy będą potrzebne.

Podłączenie do zasilania

Do połączenia stanowiska ze źródłem zasilania wykorzystaj kabel dołączony do zestawu.

Urządzenie należy podłączyć do sieci elektrycznej za pomocą wtyczki i gniazdka z uziemieniem.

UWAGA!



Wtyczka sieciowa oraz gniazdo z tyłu jednostki podstawowej stanowią punkty odłączenia urządzenia od sieci – należy upewnić się, że użytkownik będzie mógł je łatwo odłączyć.

Przewody występują w trzech kolorach, które oznaczają odpowiednio:

Żółto-zielony:

Uziemienie



Braźowy:

Faza, L1

Niebieski:

Przewód neutralny

Podłączenie do systemu VDAS[®]

Jeśli chcesz korzystać z opcjonalnego systemu VDAS[®], zapoznaj się z jej instrukcją obsługi i podłącz gniazdo na panelu kontrolnym podpisane jako „VDAS” do jednego z sześciu dostępnych gniazd cyfrowych (ang. „Digital inputs”) interfejsu urządzenia VDAS-B.

Wstęp teoretyczny

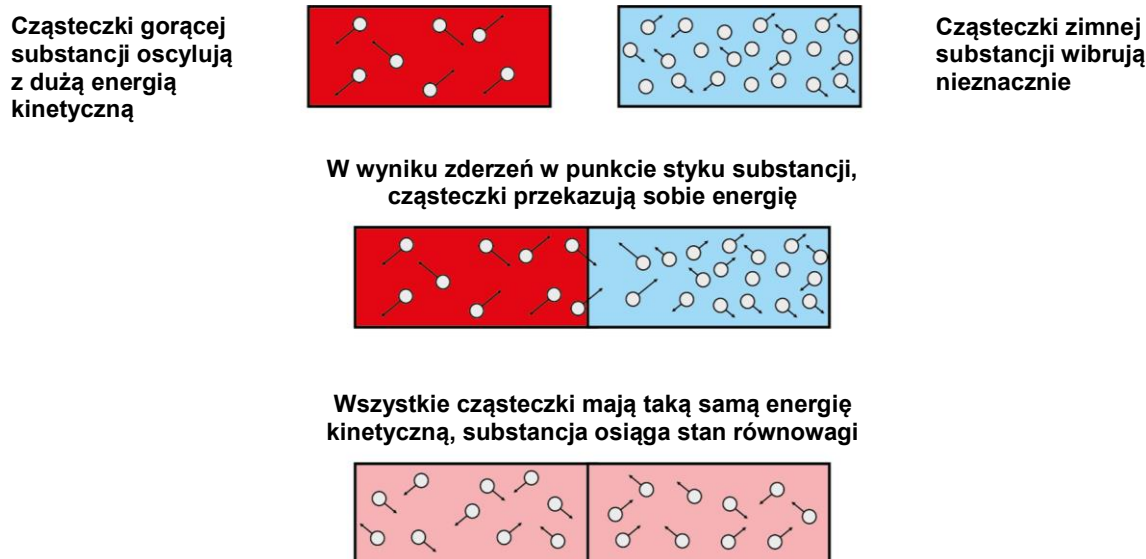
Rozdział ten podaje tylko informacje niezbędne z punktu widzenia zaproponowanych eksperymentów. Aby zapoznać się bliżej z przywołanymi zagadnieniami i pełnym zakresem teoretycznym, zachęcamy do sięgnięcia po literaturę naukową (przykładowe pozycje w języku angielskim zostały zaproponowane pod koniec niniejszej instrukcji na str. 60).

Oznaczenia

Symbol	Opis	Jednostka
A_d A_s	Pole przekroju poprzecznego tunelu Pole przekroju poprzecznego powierzchni wymiennika ciepła	m^2
h_c	Współczynnik przenikania ciepła na skutek konwekcji	W/m^2K
k_{pow}	Współczynnik konduktancji cieplnej powietrza lub przewodność cieplna	W/mK
L	Długość lub grubość	m
M \dot{m}	Masa Masowe natężenie przepływu	kg kg/s
c	Pojemność cieplna	J/K
Q	Energia cieplna	J
ρ_{pow}	Gęstość powietrza	kg/m^3
C_{pow}	Ciepło właściwe powietrza (wartość nominalna dla temp. w zakresie 0-40°C wynosi 1005 J/kgK)	J/kgK
\dot{Q}	Strumień cieplny (natężenie przepływu ciepła)	$W = J/s$
W	Moc elektryczna	W
T ΔT T_s T_{we} T_{wy} $T_{\dot{s}r}$	Temperatura, Różnica temperatur, Temperatura powierzchni wymiennika ciepła, Temperatura na wlocie kanału (otoczenia), Temperatura na wylocie z kanału Temperatura średnia (logarytmiczna)	K (albo $^{\circ}C$)
t	Czas	s

Wymiana ciepła przez przewodzenie, promieniowanie i konwekcję

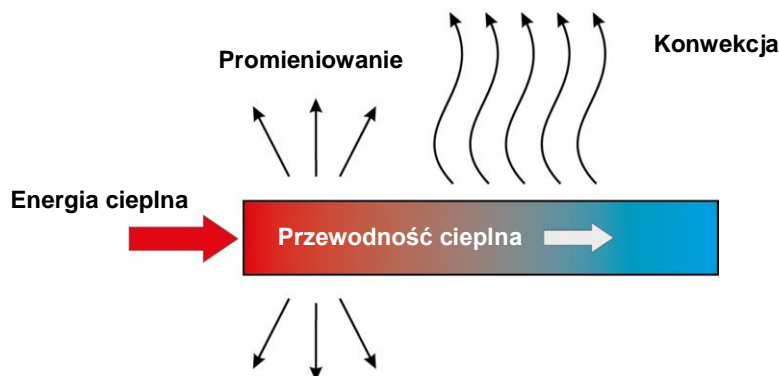
Ciepło i energia wewnętrzna są powiązane z energią kinetyczną cząsteczek substancji (zarówno ciał stałych, cieczy, jak i gazów), które drgają lub przemieszczają się. Wraz ze wzrostem temperatury molekuly poruszają się coraz szybciej. Kiedy gorąca substancja dotyka zimniejszej, aktywność kinetyczna przenosi się poprzez punkt styku. Cząsteczki w wyniku zderzeń przekazują swoją energię. Gorąca substancja stanowi źródło ciepła, a zimniejsza jego ujście (radiator). Substancja gorąca stygnie, a zimniejsza ogrzewa się aż do momentu osiągnięcia stanu równowagi przez oba materiały.



Rys. 14. Przepływ ciepła między gorącą i zimną substancją

Ciepło może przenosić się z jednego ciała na drugie na trzy sposoby: przewodność cieplną, konwekcję lub promieniowanie. W większości przypadków w świecie rzeczywistym wszystkie trzy zachodzą równocześnie.

- **Przewodność** cieplna zachodzi przy zderzaniu się cząstek ze sobą,
- **Konwekcja** polega na przepływie i mieszaniu się ze sobą cieczy lub gazów,
- **Promieniowanie** cieplne odbywa się poprzez emisję promieniowania elektromagnetycznego do otoczenia przez gorące substancje.



Rys. 15. Przepływ ciepła przez przewodność, zjawisko konwekcji i promieniowania

Kiedy próbuje się określić właściwości przewodzenia ciepła przez materiał, zawsze należy zminimalizować straty energii związane z konwekcją lub promieniowaniem, ponieważ w przeciwnym wypadku wyniki będą błędne. W tym celu stosuje się odpowiednią izolację materiału.

Konwekcja swobodna

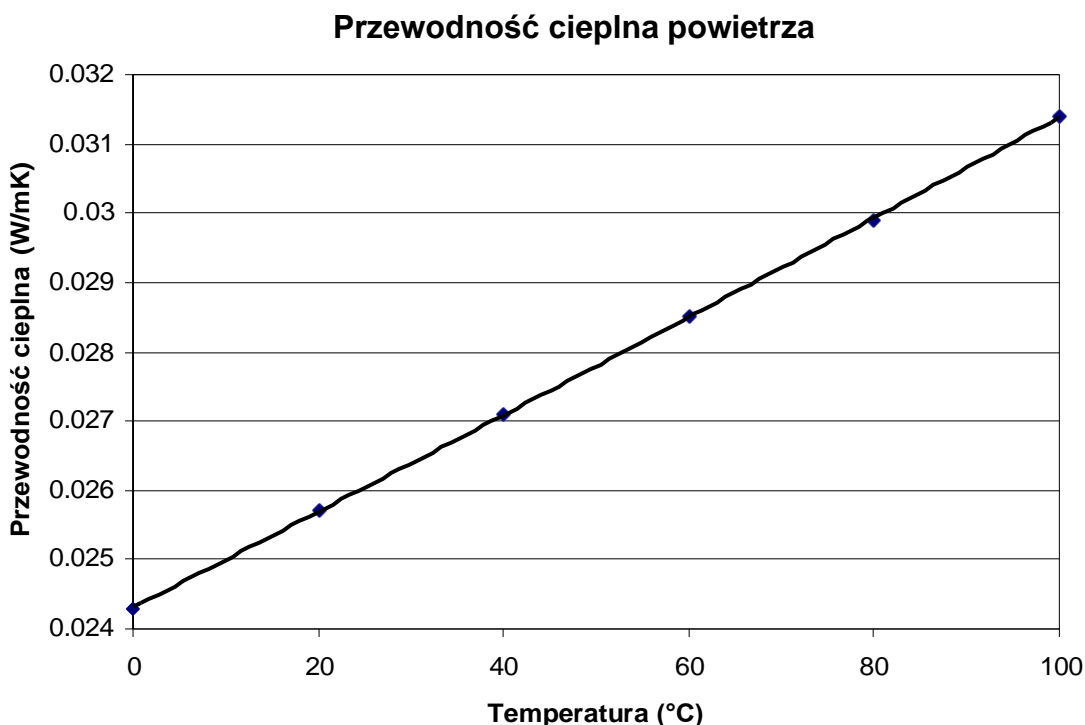
Konwekcja swobodna zachodzi wówczas, gdy ciepło jest przenoszone z obiektu za pośrednictwem ruchów płynu (powietrza) wywołanych przez zmiany jej gęstości. Energia cieplna oddawana przez powierzchnię przedmiotu powoduje zwiększenie temperatury najbliższego otoczenia. Skutkiem tego jest zmniejszenie gęstości płynu (powietrza), a siła wyporu unosi ją ku górze. W ten naturalny sposób grawitacja przyczynia się do samoistnego transportu ciepła, czyli konwekcję. Poza tym mogą występować jeszcze inne siły napędzające to zjawisko, np. siła odśrodkowa przy obracającej się rozgrzanej części maszyny.

Konwekcja wymuszona

Proces konwekcji może być wymuszony przez działanie zewnętrznej siły, która będzie wprawiała płyn (powietrze) w ruch wokół lub w poprzek powierzchni wymiany ciepła. Im większa prędkość przepływu, tym szybciej odprowadzane jest ciepło od obiektu do otoczenia i może je transportować nawet na duże odległości.

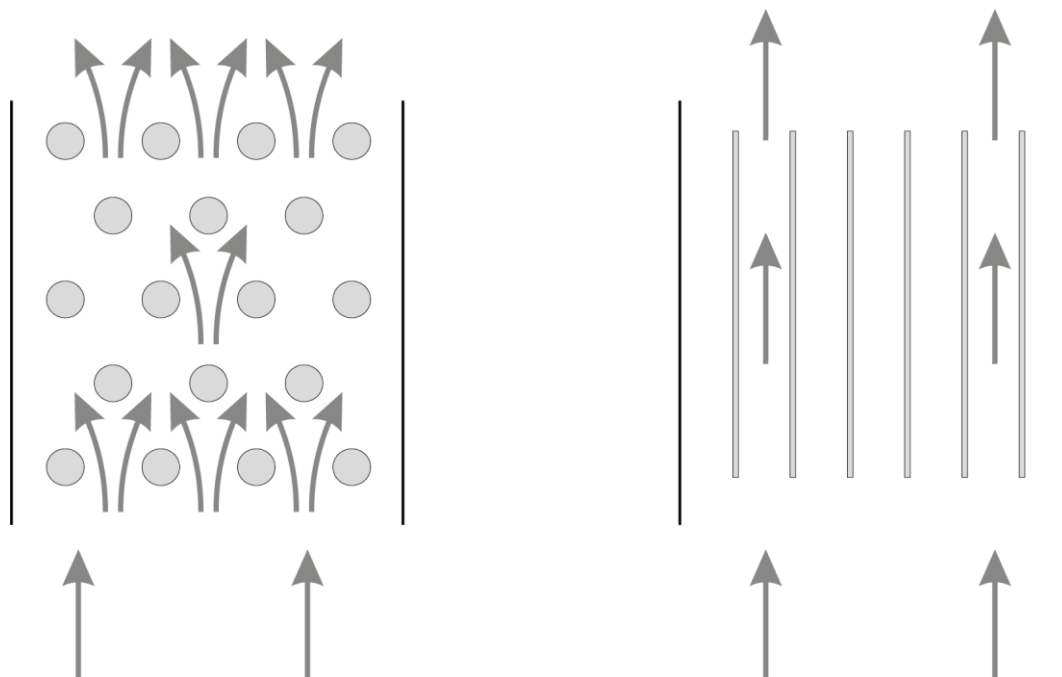
Przewodność cieplna powietrza (k_{pow})

Niektóre substancje (w tym także płyny) są lepszymi przewodnikami ciepła niż inne. Wpływa na to ich struktura chemiczna i atomowa. Efekt ten nazywamy przewodnością cieplną materii (ozn. współczynnikiem k). Jest to miara tego, jak szybko energia cieplna przemieszcza się wzdłuż jednostkowej długości materiału o jednostkowym polu przekroju poprzecznego przy danej różnicy temperatur. Współczynnik przewodnictwa cieplnego powietrza wzrasta prawie liniowo wraz z temperaturą w zakresie od 0 do 100°C.



Rys. 16. Charakterystyka przewodności cieplnej powietrza w zależności od temperatury

Porównanie natężenia przepływu powietrza i spadku ciśnienia



Rys. 17. Porównanie przepływu powietrza przez powierzchnię prętową i żebrową

Moduł płaskiej powierzchni ma mały lub całkowicie pomijalny wpływ na strumień przepływającego powietrza. Jego główna część porusza się przez środek kanału i nie ma styczności z tą powierzchnią.

Powierzchnia z wystającymi prętami znajduje się bezpośrednio w głównym strumieniu przepływu powietrza. Z tego powodu powstają w nim turbulencje, a prędkości wokół powierzchni walcowych są zróżnicowane. Dochodzi do spadku ciśnienia między powietrzem przepływającym na dole i na górze. Strumień powietrza na wlocie może mieć przepływ jednolity, a wypływ bezpośrednio za powierzchnią prętową zawsze będzie turbulentny. Moduł ten stanowi większą przeszkodę dla przepływu powietrza i spadek ciśnienia niż powierzchnie płaskie lub żebrowane.

Powierzchnia żebrowana jest umieszczona bezpośrednio w głównym strumieniu przepływu powietrza. Jednak nie ma tak wyraźnego wpływu na niego. Spadek ciśnienia i powstające turbulencje są nieduże i powietrze relatywnie równomiernie wpływa między żebra i wylatuje na ich górze.

Moc elektryczna, ilość ciepła i współczynnik przenikania ciepła

Przyjmując warunki idealne, energia dostarczana do grzałki da nam bezpośrednio dokładnie określoną ilość energii cieplnej, którą będzie emitować lub przewodzić do otoczenia.

Moc elektryczna dostarczona do grzałki jest iloczynem napięcia i natężenia prądu, który przez nią przepływa, a więc:

$$\text{Moc elektryczna (P)} = \text{Napięcie na grzałce (U)} \times \text{Natężenie prądu w grzałce (I)}$$

albo

$$P = U \times I$$

Ilość ciepła lub energii cieplnej (Q) wyrażamy przez ilość energii, zazwyczaj w jednostce dżuli (J).

Szybkość przekazywania energii cieplnej to ilość energii przekazanej w określonym czasie. W celu uproszczenia lub wyrażenia wartości chwilowej, iloraz Q/t zapisujemy jako literę Q z kropką na górze:

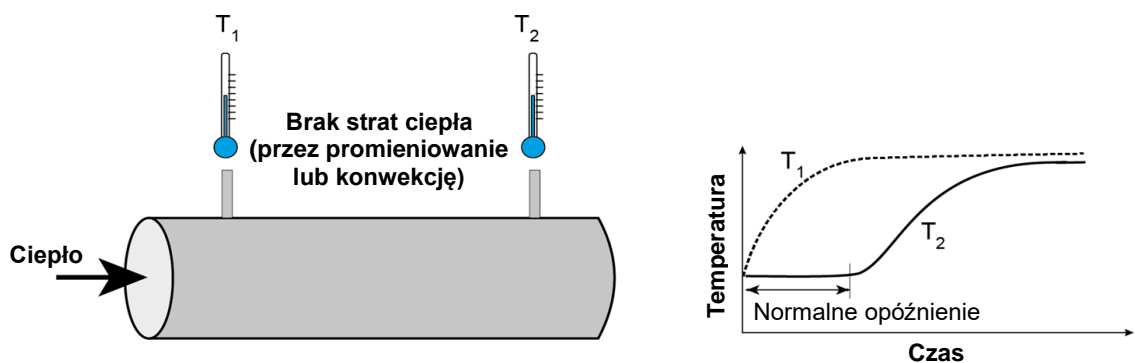
$$\frac{Q}{t} = \dot{Q}$$

Jednostka mocy elektrycznej (wat) jest także miarą szybkości przekazywania energii (jeden dżul na sekundę), czyli:

$$P = \dot{Q} \quad (1)$$

Wynika z tego wprost, że w idealnym przypadku natężenie energii elektrycznej dostarczanej do grzałki jest równe natężeniu przepływu energii cieplnej.

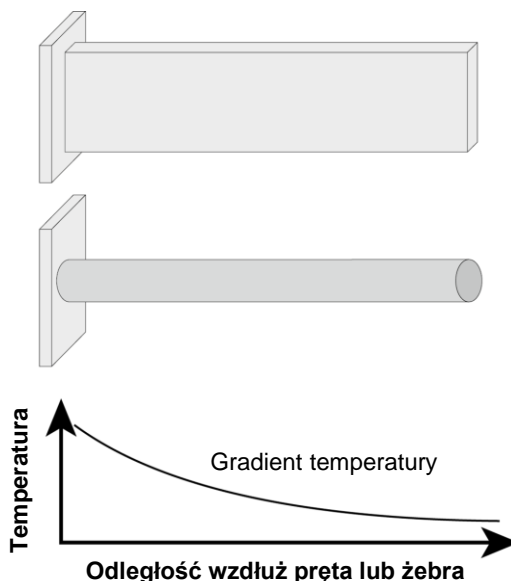
Opóźnienie i gradient temperaturowy



Rys. 18 Opóźnienie termiczne przy założeniu braku strat

Korzystając z rys. 18 i opisanej wcześniej teorii wiemy, że ogrzewając jeden koniec obiektu, energia cieplna będzie się przemieszczać do drugiego końca za sprawą przewodnictwa cieplnego. Transport energii cieplnej wymaga czasu, który zależy od właściwości termicznych materiału oraz jego wymiarów (tj. przewodności cieplnej lub oporu). Jeśli założymy brak strat, energia cieplna będzie rozprzestrzeniać się po przewodniku, aż cały przedmiot osiągnie równowagę termiczną i wszystkie cząsteczki będą miały jednakową temperaturę. Czas potrzebny do przejścia energii cieplnej z T_1 do T_2 nazywamy opóźnieniem termicznym.

W świecie rzeczywistym, straty związane z promieniowaniem i konwekcją determinują ilość energii, jaka ostatecznie dotrze do drugiego końca przewodnika i jaką będzie mieć temperaturę. W związku z tym najbardziej oddalone punkty obiektu mogą nigdy nie osiągnąć temperatury źródła energii cieplnej. Mówi się wówczas, że występuje pewien gradient temperaturowy wzdłuż przewodnika.



Rys. 19. Gradient temperatury wzdłuż przewodnika

Bezładność cieplna (masa termiczna)

$$Q = mC\Delta T \quad (2)$$

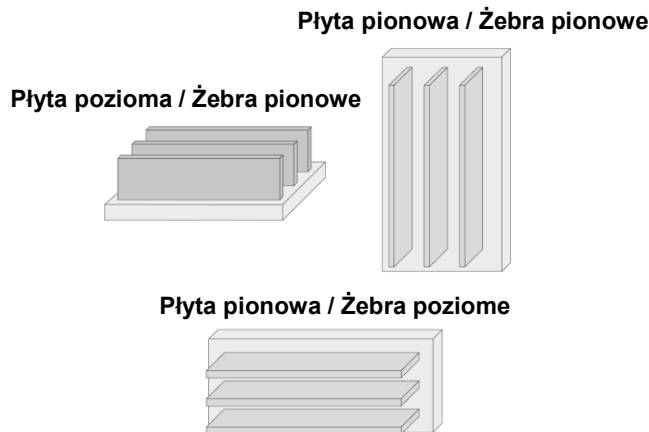
W równaniu (2) możemy zauważyć, że do ogrzania obiektu o masie m i ciepła właściwym C (zakładając, że jest ono stałe) do temperatury większej o ΔT potrzeba energii cieplnej Q .

Stąd możemy zauważyć, że dla dwóch obiektów wykonanych z tego samego materiału, ten o większej masie potrzebuje więcej energii, aby go ogrzać. Z drugiej strony, cięższy z nich ma większą pojemność cieplną i może przechowywać więcej energii – tzn. ma większą masę termiczną.

Z punktu widzenia przepływu ciepła, większa masa potrzebuje więcej czasu, aby osiągnąć daną temperaturę, niż mniejsza masa zakładając, że ciepło jest dostarczane z taką samą szybkością. I odwrotnie – większa masa potrzebuje więcej czasu, aby stracić energię, niż mniejsza masa, kiedy straty następują z tą samą szybkością. Zatem ma ona większą bezładność cieplną.

Możemy zaobserwować podobne zależności w przypadku innych zjawisk fizycznych. W inżynierii mechanicznej koła zamachowe pomagają przechowywać energię (występuje bezładność ruchu obrotowego) i dzięki temu pomagają tłumić przejściowe zmiany momentu napędowego. W elektronice kondensatory przechowują ładunki elektryczne i niwelują gwałtowne skoki napięcia i prądu. Natomiast w termodynamice bezładność cieplna dużej masy pomaga magazynować energię cieplną i podtrzymuje temperaturę, kiedy wystąpią przejściowe zmiany temperatury otoczenia lub źródła ogrzewania.

Różnice między żebrami poziomymi i pionowymi



Rys. 20. Możliwe ułożenie powierzchni płyty i żeber

W warunkach konwekcji swobodnej (naturalnej) żebra w pozycji pionowej zarówno przy poziomo położonej płycie, jak i pionowo, mają podobną wydajność i umożliwiają lepsze przekazywanie ciepła do otoczenia niż w przypadku płyty z poziomym usytuowaniem żeber (nie jest to prawdą w przypadku konwekcji wymuszonej). Płyta pionowa z poziomymi żebrami, zastosowana jako radiator układu elektrycznego, ma aż o 70% mniejszą wydajność konwekcji swobodnej.

Należy jednak pamiętać, że powierzchnia z dodatkowym żebrowaniem zawsze lepiej będzie odprowadzała ciepło niż zwykła powierzchnia płaska, ze względu na większą powierzchnię wymiany.

Konwekcyjny współczynnik przenikania ciepła (h_c)

Współczynnik przenikania ciepła charakteryzuje zdolność materiału do przewodzenia ciepła do innego materiału. Konwekcyjna wymiana ciepła zachodzi między powierzchnią materiału a poruszającym się płynem. Typowe wartości współczynnika przenikania ciepłego dla powietrza wynoszą odpowiednio:

- dla konwekcji swobodnej: 5 do 25 W/m²K,
- przy konwekcji wymuszonej: 10 do 200 W/m²K (co dowodzi, że wymiana ciepła w konwekcji wymuszonej zachodzi znacznie szybciej niż w przypadku konwekcji swobodnej).

$$h_c = \frac{\dot{Q}}{A_S \times T_m} \quad (3)$$

Gdzie T_m logarytmiczna temperatura średnia i \dot{Q} jest szybkością przekazywania energii cieplnej z powierzchni obiektu do powietrza.

$$T_m = \frac{T_{wy} - T_{we}}{\ln \frac{T_S - T_{we}}{T_S - T_{wy}}} \quad (4)$$

Liczba Nusselta (Nu)

W termodynamice liczba Nusselta wyraża stosunek szybkości wymiany ciepła w wyniku konwekcji do szybkości wymiany ciepła w wyniku przewodnictwa cieplnego. Jeżeli liczba ma wartość 1, to konwekcja nie występuje. Ponadto w przypadku niskich wartości liczby Nusselta (bliskich 1) w procesie konwekcji występuje przepływ laminarny, natomiast duża liczba (większa niż 100) wskazuje na powstawanie turbulencji.

$$Nu = \frac{h_c \times L}{k_{pow}} \quad (5)$$

Gdzie L jest długością powierzchni, nad którą porusza się powietrze (w przypadku płyty jest to po prostu jej długość).

Zastosowanie opisu teoretycznego do przepływu przez kanał

Aby korzystać z równań od (3) do (5), konieczne jest wyznaczenie szybkości przekazywania ciepła na granicy powierzchni i powietrza \dot{Q} oraz temperaturę na wylocie kanału T_{wy} .

Dla kanału powietrznego na stanowisku mamy stąd dwa problemy do rozwiązania.

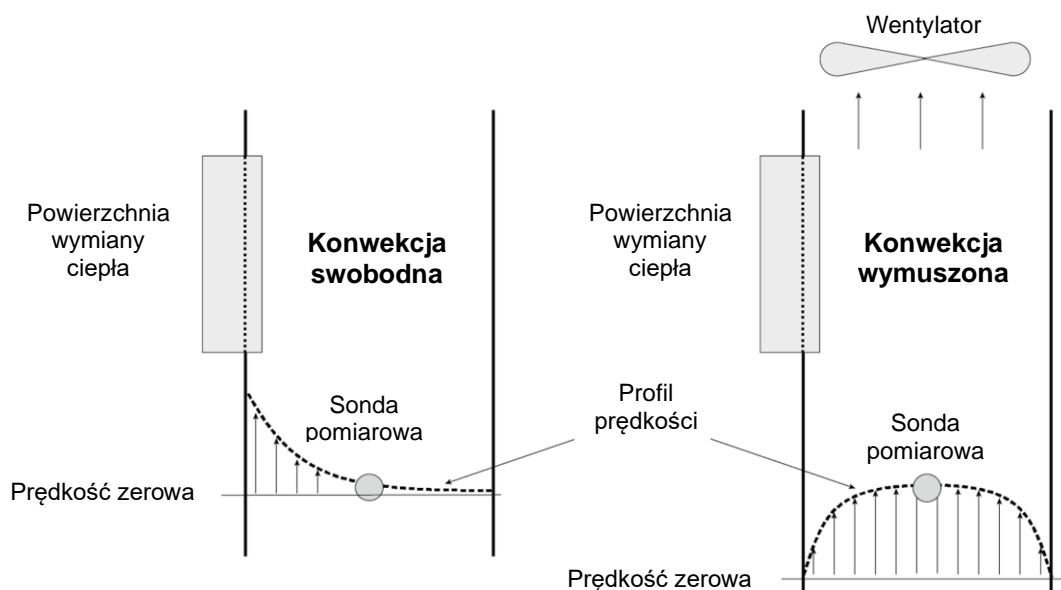
1. Szybkość wymiany ciepła z powietrzem

Dla wyidealizowanego przypadku, szybkość wymiany ciepła można wyznaczyć z równania teoretycznego w postaci:

$$\dot{Q} = \dot{m} \times C_{p_{ow}} \times \Delta T$$

Jednak prędkość powietrza w kanale nie musi być równomierna, co daje pewien profil prędkości i zmienność masowego przepływu powietrza \dot{m} (patrz rys. 21).

Przyrząd do pomiaru natężenia przepływu powietrza wykonuje pomiar bezpośredni, jednak jak widać na rys. 21, pojedynczy punkt pomiarowy prędkości powietrza może nie dawać miarodajnych wartości dla całego przekroju tunelu. Zwłaszcza, jeśli sama sonda pomiarowa wpływa na geometrię kanału. W związku z tym producenci zazwyczaj podają współczynnik korekcyjny, aby uwzględnić określone błędy. Niestety problem ten pogłębia się, gdy zechcemy w przypadku stanowiska TD1005 wziąć pod uwagę jednostronne umiejscowienie źródła ciepła oraz różne warunki prędkości, które związane są np. z konwekcją swobodną i wymuszoną.



Rys. 21. Profil prędkości przepływu powietrza wewnątrz kanału

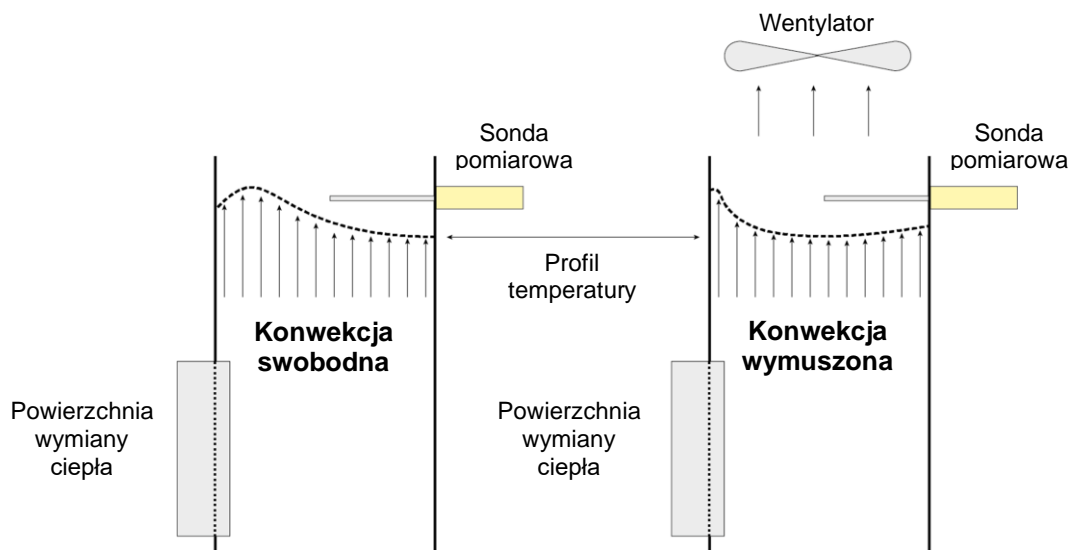
TecEquipment dokłada starań, aby urządzenia miały minimalne straty ciepła. Materiał izolacyjny zapobiega występowaniu błędzącego przewodnictwa cieplnego, a jasna i niczym nie pokryta powierzchnia metalu ogranicza promieniowanie ciepłe. Oznacza to, że straty ciepła uciekającego na zewnątrz będą małe, a moc elektryczną grzałki można przyjąć za natężenie przepływu ciepła.

$$W \approx \dot{Q}$$

Jednak przy szczegółowej analizie wyników należy pamiętać, że strumień wejściowy mocy elektrycznej zawsze będzie nieco większy niż strumień ciepła przekazywanego do powietrza. Z drugiej strony metoda ta jest obciążona mniejszymi błędami niż próba wyznaczenia szybkości wymiany ciepła z otoczeniem na podstawie masowego natężenia przepływu.

2. Pomiar temperatury na wylocie z kanału (T_{wy})

Ze względu na jednostronne źródło ciepła, temperatura powietrza w kanale może nie być równomierna. Przybliżony profil rozkładu temperatury na wylocie z kanału można zaobserwować na rys. 22.



Rys. 22. Profil temperatury na wylocie z kanału

Podobnie, jak w przypadku pomiaru prędkości przepływu powietrza, pomiar temperatury w jednym punkcie na wylocie z kanału może nie dać prawidłowej wartości (średniej temperatury nieruchomego powietrza). Teoria i eksperymenty pokazują przykładowo, że podłużne powierzchnie powodują gradient termiczny wzdłuż ich długości, który jest przenoszony przez powietrze dalej w górę kanału. Na dokładny profil temperatury wpływa geometria układu, przewodnictwo cieplne jego elementów, ale również prędkość przepływu powietrza. W związku z tym firma TecQuipment umożliwiła regulację położenia czujnika temperatury na wylocie. Badania wykorzystujące proste uśrednianie wartości pomiarów wykonanych w poprzek kanału, jak również metody całkowite wykazały, że oba sposoby dają sensowne wyniki temperatury T_{wy} , odbiegające maksymalnie o kilka procent od siebie.

T_{wy} wyznaczona przez uśrednianie

W tym celu należy wykonać pomiary w równych i bardzo małych krokach (co 1 mm). Profil temperatury staje się wtedy bardzo dokładny i może być wykorzystany bezpośrednio do obliczenia średniej wartości (stosunek sumy wszystkich pomiarów do liczby kroków). Zwiększenie odległości między próbkami wpłynie na dokładność wyniku, jednak może znacząco skrócić czas wykonywania doświadczenia.

$$T_{wy} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} = \frac{\text{Suma wszystkich pomiarów}}{\text{Liczba kroków}}$$

T_{wy} wyznaczona metodą całkowania

Innym sposobem na zaoszczędzenie czasu wykonywania pomiarów z zachowaniem określonej dokładności będzie wykorzystanie metody całkowitej. Dzięki niej większe zagęszczenie kroków pomiarowych można przeprowadzić tylko tam, gdzie profil temperatury zmienia się szybko, a w pozostałym zakresie wykonywać pomiary w większych odstępach. Wyniki można następnie zapisać w arkuszu kalkulacyjnym i wyznaczyć krzywą aproksymującą przebieg profilu temperatury. Średnia wartość T_{wy} będzie całką oznaczoną uzyskanego równania, w granicach określonych przez brzegowe punkty pomiarowe, podzieloną przez odległość między nimi.

Przebieg doświadczeń

Instrukcje bezpieczeństwa

UWAGA!



Jeśli urządzenie będzie używane niezgodnie z opisem tej instrukcji, jego zabezpieczenia ochronne mogą nie działać prawidłowo.

Nigdy nie patrz bezpośrednio na śmigła włączonego wentylatora. Wyłączaj jego zasilanie, gdy nie jest używany.

Przed dotknięciem powierzchni wymiany ciepła, odczekaj aż urządzenie ostygnie.

Powierzchnia żebrowana ma ostre krawędzie, które zwiększają powierzchnię wymiany ciepła, należy obchodzić się z nią ostrożnie.

Przydatne wskazówki

Temperatura miejscowa i przepływ powietrza

Temperatura otoczenia, bezpośrednie światło słoneczne padające na stanowisko i przepływ powietrza wokół niego mają wpływ na wyniki pomiarów. Przed przystąpieniem do doświadczenia należy upewnić się, że eksperymenty będą przeprowadzane z zachowaniem w przybliżeniu stałej temperatury otoczenia, osłonięciu od intensywnych promieni słonecznych i braku ruchomego powietrza. Przykładowe wyniki są oparte o pomiary w temperaturze pokojowej ok. 20 °C i braku wentylacji.

Uwaga



W przypadku pracy z laptopem, należy go trzymać z dala od wlotu kanału. Wentylator komputera może wdmuchiwać ciepłe powietrze w jego kierunku i wpływać na wyniki.

Równowaga termiczna i czas wykonywania dokładnych pomiarów

Zazwyczaj wyniki eksperymentów będą bardziej dokładne, jeśli przed wykonaniem pomiarów odczekamy pewien czas na ustabilizowanie się temperatury. Jest to moment, w którym układ osiąga równowagę termiczną i może trwać od kilku minut (w przypadku wymuszonej konwekcji) do nawet godziny (dla testów z konwekcją swobodną).

Uwaga



W czasie oczekiwania na uzyskanie równowagi termicznej należy zweryfikować, czy tendencje wzrostowe lub spadkowe temperatury nie są spowodowane wahaniami temperatury otoczenia (wlotu powietrza).

Zabezpieczenia termiczne

W czasie przeprowadzania doświadczeń staraj się utrzymać temperaturę powierzchni wymiany ciepła poniżej 95°C, w przeciwnym razie mogą zadziałać wyłączniki termiczne, wyłączając tymczasowo zasilanie grzałek (co może mieć znaczący wpływ na wyniki).

Stała moc grzałki

W czasie rozgrzewania się grzałki, zmienia się jej opór elektryczny. Z tego powodu, aby utrzymać stałą moc, może być konieczne dokonanie niewielkiej korekty regulacji raz lub dwa w czasie eksperymentu.

Kontrola prędkości wentylatora z pomocą anemometru

Anemometr jest urządzeniem do pomiaru prędkości ruchu powietrza. Przyrząd dołączony do zestawu działa w oparciu o element na końcówce, który nagrzewa się lub chłodzi. Urządzenie jest czułe, ale reaguje powoli na zmiany prędkości, ponieważ jest to proces termiczny. W związku z tym należy powoli i ostrożnie regulować prędkość wentylatora, aby osiągnąć wymaganą prędkość przepływu powietrza.

UWAGA



Nigdy nie wkładaj niczego do otworu w końcówce sondy anemometru. Upewnij się, że śruba blokująca nigdy się tam nie dostanie.

Instrukcja montażu modułu powierzchni wymiany ciepła

1. Odłącz zasilanie elektryczne jednostki podstawowej i upewnij się, że sterowanie grzałką jest ustawione na minimum, a przełącznik grzałki wyłączony.
2. Ostrożnie włóż moduł powierzchni wymiany ciepła do kwadratowego otworu w kanale. Zabezpiecz go, używając czterech śrub z plastikową główką, które dołączono do zestawu.

Uwaga



Dokręć śruby palcami tak, aby powierzchnia przylegała równo do kanału i lekko dociskała uszczelkę. Końce żeber lub prętów będą wówczas dotykać przezroczystego okna po przeciwnej stronie kanału.

3. Podłącz przewody termopar i grzałkę modułu z jednostką podstawową (szczegółowy opis połączenia termopar znajdziesz w instrukcji eksperymentów).
4. W celu zdjęcia modułu należy powyższą procedurę przeprowadzić w odwrotnej kolejności.

Instrukcja montażu wentylatora

Podłączenie wentylatora:

1. Odłącz zasilanie elektryczne jednostki podstawowej i upewnij się, że regulator prędkości wentylatora jest ustawiony na minimum (przekręcony maksymalnie w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara).
2. Ostrożnie zamocuj wentylator w górnej części kanału i zabezpiecz go ośmioma śrubami mocującymi, dołączonymi do zestawu.
3. Podłącz przewód zasilania wentylatora do gniazda z tyłu jednostki podstawowej.

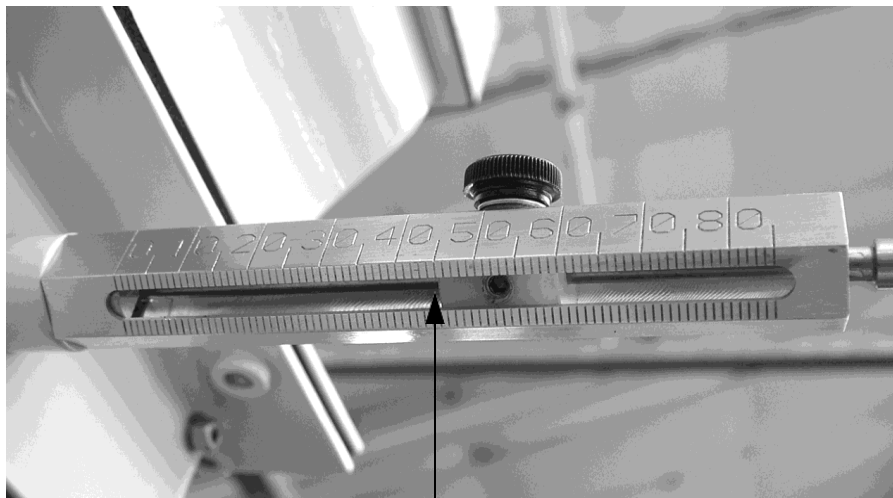
Demontaż wentylatora:

1. Ustaw prędkość wentylatora na minimum.
2. Odłącz zasilanie elektryczne jednostki podstawowej i wyjmij wtyczkę wentylatora.
3. Odkręć śruby mocujące wentylator. Zdejmij go ostrożnie i odłóż na biurko lub stół warsztatowy.

Pokrywa magnetyczna

Jeśli nie podano inaczej, podczas przeprowadzania testów należy upewnić się, że pokrywa magnetyczna blokuje wszystkie sześć otworów z boku kanału. W przeciwnym wypadku, może powstać niepożądana ścieżka błądząca ciepłego powietrza, która może wpłynąć na uzyskane wyniki.

Korzystanie z ruchomej sondy pomiarowej



**Krawędź czołowa stanowi punkt odniesienia
(na zdjęciu sonda została przesunięta do położenia 45 mm)**

Rys. 23. Korzystanie z ruchomej sondy pomiarowej

TecEquipment kalibruje nylonową tuleję wokół sondy w taki sposób, aby krawędź czołowa (punkt odniesienia) znajdowała się dokładnie na znaku 0 (zero), gdy końcówka sondy dotyka przeciwległej ścianki kanału.

Aby zmienić położenie sondy, wystarczy poluzować palcami śrubę z plastikową główką i przesunąć tuleję wzdłuż prowadnicy. Krawędź czołowa (od strony kanału) stanowi miarę odległości od przeciwległej ściany. Na rys. 23 pokazano sondę odsuniętą o 45 mm.

Używanie sondy powierzchni wymiany ciepła

Sonda powierzchniowa posiada mechanizm, który chroni ciekłą końcówkę sondy, kiedy nie jest używana. Aby z niej skorzystać:

1. Nałóż niewielką ilość pasty termicznej (w zestawie) na kawałek materiału, który nie pochłania wilgoci.
2. Delikatnie wysuń końcówkę sondy.
3. Zanurz końcówkę sondy w paście termicznej.
4. Wsuń sondę do otworu z boku kanału, aby końcówka delikatnie dotykała pręta lub żebra.

UWAGA



Nie należy zbyt mocno naciskać na końcówkę sondy. Zbyt duża siła może ją uszkodzić lub żebro modułu wymiany ciepła.

5. Za każdym razem przed włożeniem sondy do otworu, zanurz jej koniec w paście termicznej.

Doświadczenie 1: Konwekcja swobodna – stała moc grzałki

Uwaga



Eksperyment można przeprowadzić dla dowolnej powierzchni wymiany ciepła.

Wprowadzenie

W większości zastosowań radiator chłodzi kluczowy element, na którym wydziela się energia cieplna, taki jak głowica silnika lub komponent elektroniczny. Dobrym i prostym modelem takiego źródła ciepła jest zastosowanie stałej mocy wejściowej i swobodnego przepływu powietrza. Pomiar temperatury różnych powierzchni może wykazać, która z nich będzie najmniej efektywnie odprowadzała ciepło i osiągnie w skutek tego najwyższą temperaturę. Powierzchnia o najniższej temperaturze będzie z kolei najbardziej efektywna w przekazywaniu ciepła do powietrza.

Cel

Porównanie maksymalnej temperatury, jaką osiąga każda powierzchnia przy danej mocy wejściowej grzałki i konwekcji swobodnej.

Przebieg

1. Zdejmij wentylator z górnej części kanału (zgodnie z „Instrukcją montażu wentylatora”).
2. Zamontuj wybraną powierzchnię wymiany ciepła (jak pokazano w „Instrukcji montażu modułu powierzchni wymiany ciepła”).
3. Sporządź pustą tabelę na wyniki pomiarów (podobnie do Tabeli 1). W przypadku korzystania z systemu VDAS[®], oprogramowanie utworzy tabelę automatycznie po rozpoczęciu pomiarów.
4. Zwiększ moc grzałki do 15 W.
5. **Poczekaj, aż temperatura się ustabilizuje**, w razie potrzeby ponownie regulując moc i zapisz maksymalną temperaturę, jaką osiągnie powierzchnia.

Uwaga



W warunkach konwekcji swobodnej, stabilizacja temperatury może potrwać nawet 30 minut. Jeśli po tym czasie wartości wskazań dalej będą się zmieniać, zapisz odczytaną temperaturę mimo to i przejdź do dalszej pracy ze stanowiskiem.

6. Zapisz temperaturę na wlocie do kanału (temperaturę otoczenia).
7. Wyłącz grzałkę i pozwól, aby powierzchnia ostygła do temperatury zbliżonej do temperatury otoczenia.
8. Powtórz doświadczenie dla innych powierzchni wymiany ciepła.

Moc grzałki = 15 W			
Powierzchnia wymiany ciepła	T_2	T_1	Różnica temperatur $T_s - T_{we}$ (°C)
	Temperatura powierzchni T_s (°C)	Wlot kanału (otoczenie) T_{we} (°C)	
Powierzchnia płaska			
Powierzchnia prętowa			
Powierzchnia żebrowana			

Tab. 1. Pusta tablica wyników pomiarów dla doświadczenia 1

Analiza wyników i wnioski

Dla każdego zestawu wyników należy wyznaczyć różnicę temperatury powierzchni wymiany ciepła i temperatury otoczenia. Pomaga to uwzględnić lokalną zmianę temperatury względem otoczenia.

Porównaj uzyskane wyniki. Która powierzchnia wytworzyła największą różnicę temperatur przy konwekcji swobodnej? O czym to świadczy?

Doświadczenie 2: Konwekcja swobodna – szybkie porównanie

Uwaga



Eksperyment można przeprowadzić dla dowolnej powierzchni wymiany ciepła.

Wprowadzenie

W pierwszym eksperymencie porównano bezpośrednio różne powierzchnie wymiany ciepła, za każdym razem pozwalając im osiągnąć stan równowagi termicznej. Mogło to zająć trochę czasu. Alternatywą dla tego podejścia może być rejestracja czasu potrzebnego do osiągnięcia określonej temperatury przy ustalonym źródle dopływu ciepła. Takie badanie w warunkach nieustalonych jest znacznie szybsze, ponieważ nie jest wymagane osiągnięcie stanu równowagi, jednakże inne czynniki mogą wpływać na wynik tego eksperymentu.

Cel

- Porównanie czasu potrzebnego do osiągnięcia danej temperatury dla każdej powierzchni i stałej mocy wejściowej.
- Zapoznanie się z różnicą charakterystyk bezwładności cieplnej każdej z powierzchni dla konwekcji swobodnej.

Przebieg

1. Zdejmij wentylator z górnej części kanału (jak pokazano w „Instrukcji montażu wentylatora”).
2. Zamocuj wybraną powierzchnię wymiany ciepła (zgodnie z „Instrukcją montażu modułu powierzchni wymiany ciepła”).
3. Przygotuj pustą tabelę wyników, podobną do tabeli 2. W przypadku korzystania z systemu VDAS[®], oprogramowanie utworzy tabelę automatycznie po rozpoczęciu pomiarów.
4. Odczytaj wynik pomiaru temperatury powierzchni i wlotu do kanału.
5. Przygotuj stoper lub inny przyrząd do pomiaru czasu (nie dołączono do zestawu). Następnie włącz grzałkę i od razu ustaw ją na moc 90 W i uruchom stoper. W przypadku korzystania z systemu VDAS[®], do tego eksperymentu może być przydatna funkcja rejestrowania danych w czasie (szczegółowe informacje znajdziesz w instrukcji obsługi systemu VDAS[®]).
6. Zapisuj wartość temperatury powierzchni oraz wlotu powietrza w odstępach co 20 sekund, aż temperatura powierzchni osiągnie wartość 70°C.
7. Wyłącz grzałkę i pozwól, aby powierzchnia ostygła do temperatury otoczenia.
8. Powtórz eksperyment dla pozostałych powierzchni wymiany ciepła.

Powierzchnia wymiany ciepła: Moc grzałki = 90 W			
Czas (s)	T ₂	T ₁	Różnica temperatur T _s - T _{we} (°C)
	Temperatura powierzchni T _s (°C)	Wlot kanału (otoczenie) T _{we} (°C)	
0			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			
110			
120			
130			
140			
150			
160			
170			
180			
190			
200			

Tab. 2. Pusta tabela wyników pomiaru eksperymentu 2 dla wybranej powierzchni

Analiza wyników i wnioski

W każdej tabeli w ostatniej kolumnie należy wyznaczyć różnicę temperatury powierzchni wymiany ciepła i temperatury na wlocie. Pomoże to uwzględnić zmianę temperatury względem otoczenia.

Sporządź wykres różnicy temperatur (oś pionowa) w zależności od czasu dla wszystkich trzech powierzchni, aby zobaczyć istniejące zależności i porównać je ze sobą. Pomiń przy tym wartość pierwszego pomiaru, ponieważ służy on jedynie jako wartość odniesienia.

Który moduł wymiany ciepła potrzebował najwięcej czasu, aby osiągnąć temperaturę 70 °C? Spójrz do tabeli z ich specyfikacją techniczną i porównaj pola powierzchni oraz masę każdego z nich. Wszystkie zostały wykonane z takich samych materiałów i mają z tyłu identyczną konstrukcję. Czy wyniki pomiarów potwierdzają teorię występowania bezwładności cieplnej?

Dlaczego opisana metoda może być użyta tylko jako ogólne porównanie?

Co te doświadczenie mówi o znaczeniu oczekiwania na równowagę termiczną układu (jak w dośw. 1)?

Doświadczenie 3: Konwekcja swobodna – zależność temperatury od mocy grzałki

Uwaga



Eksperyment można przeprowadzić w sposób prawidłowy tylko dla powierzchni prętowej i żebrowanej.

W warunkach konwekcji swobodnej powierzchnia płaska staje się zbyt gorąca nawet przy niskich mocach grzałki.

Wprowadzenie

We wcześniejszych doświadczeniach porównywano efektywność powierzchni wymiany ciepła przy konwekcji swobodnej i stałej mocy źródła ciepła. Badania wykazały, że płaska płyta nie jest efektywna, przez co osiąga wysoką temperaturę nawet przy niskim nakładzie mocy. W związku z tym badanie zależności temperatury od mocy dla powierzchni płaskiej nie jest możliwe.

W tym eksperymencie wykonaj pomiary temperatury dla powierzchni żebrowej i prętowej, regulując moc wejściową grzałki i ustal zależność między nimi.

Uwaga



Eksperyment może potrzebować ok. 35 minut, aby temperatura ustabilizowała się dla każdego ustawienia mocy. Jeśli nie ma wystarczająco czasu, aby zbadać oba rodzaje powierzchni, można ograniczyć się do jednej. Wnioski będą podobne dla każdej z nich, ale powierzchnia żebrowana ma mniejszą masę termiczną i szybciej osiąga stan równowagi termicznej.

Cel

Zbadanie zależności między mocą źródła ciepła i temperaturą na powierzchni wymiany ciepła przy konwekcji swobodnej w układzie żebrowym i prętowym.

Przebieg

1. Zdejmij wentylator z górnej części kanału (jak pokazano w „Instrukcji montażu wentylatora”).
2. Zamocuj powierzchnię żebrowaną lub prętową (zgodnie z „Instrukcją montażu modułu powierzchni wymiany ciepła”).
3. Przygotuj pustą tabelę wyników, podobną do tabeli 3. W przypadku korzystania z systemu VDAS[®], oprogramowanie utworzy tabelę automatycznie po rozpoczęciu pomiarów.
4. Na potrzeby analizy porównawczej, dokonaj odczytu temperatur przy braku zasilania.
5. Włącz grzałkę i ustaw jej moc na 5 W.
6. Oczekaj, aż układ się ustabilizuje, a następnie zapisz wartości temperatury na powierzchni wymiany ciepła oraz włócie do kanału.
7. Powtórz procedurę dla kilku kolejnych mocy grzałki, jak pokazano w tabeli wyników. Nie przekraczaj na płycie temperatury 95 °C.
8. Wyłącz grzałkę i pozwól, aby powierzchnia ostygła do temperatury zbliżonej do temperatury otoczenia.
9. Jeśli masz taką możliwość, powtórz pomiary dla drugiej powierzchni wymiany ciepła (żebrowanej lub prętowej).

Powierzchnia wymiany ciepła: żebrowana / prętowa			
Moc (W)	T_2	T_1	Różnica temperatur $T_s - T_{we}$ (°C)
	Temperatura powierzchni T_s (°C)	Wlot kanału (otoczenie) T_{we} (°C)	
0			
5			
10			
15			
20			
25			
30			
35			
40			
45			
50			

Tab. 3. Pusta tabela wyników pomiaru zależności temperatury od mocy w doświadczeniu 3

Analiza wyników i wnioski

W każdej tabeli w ostatniej kolumnie należy wyznaczyć różnicę temperatury powierzchni wymiany ciepła i temperatury na wlocie. Pomoże to uwzględnić zmianę temperatury względem otoczenia.

Sporządź wykres różnicy temperatur (oś pionowa) w zależności od mocy (oś pozioma). Jeśli wykonano pomiary dla obu powierzchni, zaznacz wyniki na jednej charakterystyce porównawczej.

Zastanów się jak przyciemnienie powierzchni wymiany ciepła mogłoby wpłynąć na wyniki? Pomyśl o innych sposobach wymiany ciepła.

Doświadczenie 4: Konwekcja wymuszona – stała moc grzałki

Uwaga



Eksperyment można przeprowadzić dla dowolnej powierzchni wymiany ciepła.

Wprowadzenie

Naturalnie powstające prądy konwekcyjne mają ograniczone możliwości szybkości wymiany ciepła. Prędkość przepływu powietrza wzrasta wraz ze wzrostem mocy wejściowej, ale przy niższej różnicy temperatur konwekcja swobodna jest powolna i nie jest możliwe rozpraszanie większej ilości mocy. Sztuczne zwiększenie przepływu powietrza (przy użyciu wentylatora) pomaga zwiększyć współczynnik wymiany ciepła. Dzięki temu uzyskuje się niższą temperaturę powierzchni dla każdej mocy wejściowej i różnicy temperatur.

Cel

Porównanie temperatury powierzchni wymiany ciepła przy konwekcji wymuszonej i stałej mocy wejściowej.

Przebieg

1. Przymocuj wentylator w górnej części kanału (jak pokazano w „Instrukcji montażu wentylatora”).
2. Zamocuj wybraną powierzchnię wymiany ciepła (zgodnie z „Instrukcją montażu modułu powierzchni wymiany ciepła”).
3. Przygotuj pustą tabelę wyników, podobną do tabeli 4. W przypadku korzystania z systemu VDAS®, oprogramowanie utworzy tabelę automatycznie po rozpoczęciu pomiarów.
4. Upewnij się, że ustawiono minimalną prędkość obrotów wentylatora.
5. Załącz grzałkę i ustaw jej moc na 15 W.
6. **Poczekaj, aż temperatura się ustabilizuje**, w razie potrzeby ponownie regulując moc i zapisz maksymalną temperaturę, jaką osiągnie powierzchnia.
7. Zwiększaj stopniowo prędkość obrotów wentylatora, aż szybkość przepływu powietrza przez kanał wyniesie około 2 m/s.
8. Odczekaj, aż temperatura się ustabilizuje, a następnie zapisz wartości temperatur.
9. Wyłącz grzałkę i pozwól, aby powierzchnia ostygła do temperatury zbliżonej do temperatury otoczenia.
10. Powtórz doświadczenie dla innych powierzchni wymiany ciepła.

Moc grzałki = 15 W Szybkość przepływu powietrza= 2 m/s			
Powierzchnia wymiany ciepła	T_2	T_1	Różnica temperatur $T_s - T_{we}$ (°C)
	Temperatura powierzchni T_s (°C)	Wlot kanału (otoczenie) T_{we} (°C)	
Powierzchnia płaska			
Powierzchnia prętowa			
Powierzchnia żebrowana			

Tab. 4. Pusta tablica wyników pomiarów dla doświadczenia 2

Analiza wyników i wnioski

W każdej tabeli w ostatniej kolumnie należy wyznaczyć różnicę temperatury powierzchni wymiany ciepła i temperatury na wlocie. Pomoże to uwzględnić zmianę temperatury względem otoczenia.

Porównaj wyniki konwekcji wymuszonej z konwekcją swobodną. Która powierzchnia w najmniejszym stopniu poprawiła szybkość wymiany ciepła, a która najbardziej?

Doświadczenie 5: Konwekcja wymuszona – opór przepływu powietrza

Uwaga



Eksperyment można przeprowadzić dla dowolnej powierzchni wymiany ciepła.

Wprowadzenie

Doświadczenia 1-4 pokazały porównawczą efektywność rozpraszania ciepła przez różne rodzaje powierzchni oraz poprawę wynikającą z konwekcji wymuszonej. Nie pokazano jednak dotąd, jak każda z nich wpływa bezpośrednio na przepływ powietrza, a przez to na spadek ciśnienia wewnątrz kanału. Wykorzystując płaską płytę jako punkt odniesienia można porównać względny spadek prędkości spowodowany przez inne powierzchnie. Niższa prędkość będzie wskazywać na wyższy spadek ciśnienia dla stałego ustawienia wentylatora.

Cel

Porównanie oporów przepływu powietrza, wywołanych przez każdą z powierzchni wymiany ciepła.

Przebieg

1. Przymocuj wentylator w górnej części kanału (jak pokazano w „Instrukcji montażu wentylatora”).
2. Zamocuj powierzchnię płaską (patrz „Instrukcja montażu modułu powierzchni wymiany ciepła”).
3. Przygotuj pustą tabelę wyników, podobną do tabeli 5.
4. Wyreguluj prędkość wentylatora tak, aby szybkość przepływu powietrza wynosiła około 3 m/s.
5. Od tego momentu nie zmieniaj prędkości wentylatora.
6. Wymień moduł płaskiej powierzchni wymiany ciepła na powierzchnię żebrowaną i zapisz prędkość przepływu powietrza.
7. Nie zmieniaj prędkości wentylatora.
8. Wymień moduł powierzchni żebrowanej na powierzchnię z prętami. Odczytaj i zapisz wskazanie prędkości powietrza wewnątrz kanału.
9. Wyłącz wentylator.

Powierzchnia wymiany ciepła	Przepływ powietrza (m/s)
Powierzchnia płaska	
Powierzchnia prętowa	
Powierzchnia żebrowana	

Tab. 5. Tabela prędkości przepływu powietrza dla różnych modułów powierzchni

Analiza wyników i wnioski

Zwróć uwagę na różnice prędkości przepływu powietrza. Jaki wpływ może mieć to zjawisko na wybór właściwej powierzchni wymiany ciepła pod konkretne zastosowanie?

Doświadczenie 6: Rozkład temperatury wzdłuż powierzchni

Uwaga



Eksperyment można przeprowadzić tylko dla modułu powierzchni prętowej i żebrowanej.

Wprowadzenie

Poprzednie eksperymenty wykazały, że podłużne powierzchnie (prętowe i żebrowane) lepiej przewodzą ciepło do powietrza. Jeśli chcielibyśmy uzyskać 100% ich wydajności, musiałyby mieć jednakową temperaturę na całej swojej powierzchni (taką samą jak płyty bazowej). Teoria wskazuje jednak, że na powierzchni zawsze będzie występować gradient termiczny. Im będzie on bardziej stromy, tym sprawność będzie niższa.

W tym doświadczeniu zostanie zbadane, jak ciepło rozchodzi się wzdłuż powierzchni o różnym ukształtowaniu i jaki to ma wpływ na uzyskiwaną sprawność.

Cel

Przedstawienie rozkładu temperatury (gradientu) wzdłuż powierzchni wymiany ciepła w zjawisku konwekcji swobodnej i wymuszonej.

Przebieg

1. Zdejmij wentylator z górnej części kanału (jak pokazano w „Instrukcji montażu wentylatora”).
2. Zamocuj powierzchnię prętową wymiany ciepła (zgodnie z „Instrukcją montażu modułu powierzchni wymiany ciepła”).
3. Przygotuj pustą tabelę wyników, podobną do tabeli 6. W przypadku korzystania z systemu VDAS®, oprogramowanie utworzy tabelę automatycznie po rozpoczęciu pomiarów.
4. Włącz grzałkę i ustaw jej moc na 30 W.
5. **Zaczekaj aż temperatura się ustabilizuje (może to potrwać 30 do 40 min).**
6. Za pomocą przesuwnej pokrywy magnetycznej odsłoń tylko pierwszy otwór (umiejscowiony najdalej po lewej stronie i najbliższej powierzchni wymiany ciepła).
7. Dodaj niewielką ilość pasty termoprzewodzącej (w zestawie) na końcówkę sondy.
8. Wprowadź sondę do pierwszego otworu tak, aby jej koniec dotykał pręta.

UWAGA



Nie należy zbyt mocno naciskać na końcówkę sondy. Zbyt duża siła może uszkodzić ją lub żebro modułu wymiany ciepła.

9. Zapisz wartość temperatury zmierzonej za pomocą sondy włożonej przez otwór, miernika na powierzchni modułu oraz przy wlocie powietrza na dole kanału.
10. Przeprowadź podobną procedurę dla każdego z pozostałych otworów pomiarowych. Pokrywę magnetyczną przesuwaj tak, aby nieużywane otwory były zasłonięte. Za każdym razem poczekaj, aż temperatury się ustabilizują.
11. Zamocuj wentylator w górnej części kanału (jak pokazano w „Instrukcji montażu wentylatora”).
12. Ustaw prędkość wentylatora na 3 m/s i powtórz doświadczenie przy konwekcji wymuszonej.

13. Wyłącz grzałkę i pozwól ostygnąć elementom do temperatury zbliżonej do otoczenia (w razie potrzeby możesz pozostawić włączony wentylator, który przyspieszy proces chłodzenia).
14. Powtórz doświadczenie dla powierzchni żebrowanej.

Powierzchnia wymiany ciepła: Moc grzałki = 30 W Prędkość powietrza: Rodzaj konwekcji:						
	Położenie 1 (7.5 mm)	Położenie 2 (19.5 mm)	Położenie 3 (31.5 mm)	Położenie 4 (43.5 mm)	Położenie 5 (55.5 mm)	Położenie 6 (67.5 mm)
Temperatura sondy (T_p) T_3						
Temperatura powierzchni (T_s) T_2						
Temperatura wlotu (T_{we}) T_1						
Różnica temperatur ($T_p - T_{we}$)						

Tab. 6. Pusta tabela wyników rozkładu temperatury wzdłuż powierzchni wymiany ciepła

Analiza wyników i wnioski

Sporządź wykres temperatury (oś pionowa) w zależności od położenia sondy wzdłuż pręta lub żebra. Wykorzystaj do tego celu wartości różnic temperatury pomiędzy sondą a otoczeniem ($T_p - T_{we}$), aby uwzględnić zmiany warunków otoczenia. Nanieś wyniki zarówno konwekcji swobodnej oraz wymuszonej. Zwróć uwagę w różnicy gradientu między nimi dla każdej powierzchni.

Czy wyniki zgadzają się z wnioskami wcześniejszych eksperymentów?

Wydłużone powierzchnie są wykonane ze stali nierdzewnej, która jest stosunkowo słabym przewodnikiem. Jak użycie aluminium lub miedzi (lepszych przewodników) wpłynęłoby na gradient temperatury i ogólną wydajność wymiany energii cieplnej z otoczeniem?

Doświadczenie 7: Konwekcja wymuszona – wpływ prędkości

Uwaga



Eksperyment można przeprowadzić tylko dla modułu powierzchni prętowej i żebrowanej.

Wprowadzenie

Dotychczasowe doświadczenia pokazują, że zwiększony przepływ powietrza poprawia skuteczność wymiany ciepła, a zwłaszcza na wydłużonych powierzchniach. W tym eksperymencie zbadamy to dokładniej.

Cel

Wykazać, jak bardzo zwiększony przepływ powietrza poprawia efektywność wymiany ciepła.

Przebieg

1. Załóż wentylator na górnej części kanału (jak pokazano w „Instrukcji montażu wentylatora”).
2. Zamocuj powierzchnię prętową lub żebrową wymiany ciepła (zgodnie z „Instrukcją montażu modułu powierzchni wymiany ciepła”).
3. Przygotuj pustą tabelę wyników, podobną do tabeli 7. W przypadku korzystania z systemu VDAS®, oprogramowanie utworzy tabelę automatycznie po rozpoczęciu pomiarów.
4. Ustaw prędkość obrotów wentylatora tak, aby powietrze przepływało z prędkością 1 m/s.
5. Włącz grzałkę i ustaw jej moc na 50 W.
6. **Poczekaj, aż temperatura się ustabilizuje.**
7. Zapisz temperaturę powierzchni i wlotu do kanału.
8. Powtórz procedurę dla prędkości powietrza: 1,5 m/s, 2,0 m/s, 2,5 m/s i 3,0 m/s.
9. Przeprowadź ponownie doświadczenie dla innej powierzchni wymiany ciepła.

Powierzchnia wymiany ciepła: Moc grzałki:			
Prędkość powietrza (m.s ⁻¹)	T ₂	T ₁	Różnica temperatur T _s - T _{we} (°C)
	Temperatura powierzchni T _s (°C)	Wlot kanału (otoczenie) T _{we} (°C)	

Tab. 7. Pusta tabela wyników pomiarów doświadczenia 7

Analiza wyników i wnioski

W każdej tabeli w ostatniej kolumnie należy wyznaczyć różnicę temperatury powierzchni wymiany ciepła i temperatury na wlocie. Pomoże to uwzględnić zmianę temperatury względem otoczenia.

Dla każdej powierzchni utwórz wykres zależności $T_s - T_{we}$ (oś pionowa) od prędkości (oś pozioma).

Co wykres mówi o wpływie prędkości na temperaturę? Która powierzchnia ma niższą temperaturę przy danej prędkości powietrza?

Doświadczenie 8: Współczynnik przenikania ciepła i liczba Nusselta

Uwaga



Eksperyment można przeprowadzić z użyciem dowolnej powierzchni wymiany ciepła, ale metoda zostanie zaprezentowana tylko dla płaskiej płyty.

Wprowadzenie

Eksperymenty, które wcześniej opisano, porównywały wydajność powierzchni w konwekcji swobodnej i wymuszonej poprzez pomiary temperatury powierzchni. Bardziej naukowe badania wymagają obliczeń z wykorzystaniem współczynników efektywności wymiany ciepła. W tym przypadku istotny jest współczynnik konwekcyjnej wymiany ciepła i liczba Nusselta (patrz „Wstęp teoretyczny”). Poprzednie doświadczenia w sposób jakościowy pokazały, że konwekcja wymuszona poprawia szybkość wymiany ciepła. Ten eksperyment przedstawia to w sposób bardziej naukowy (ilościowy) na podstawie modułu płaskiej płyty. Metodę tą można byłoby rozszerzyć na analizę innych powierzchni, jednak zagadnienie to wykracza poza zakres niniejszej instrukcji.

Cel

Wyznaczenie wartości współczynnika przenikania ciepła na skutek konwekcji i liczby Nusselta dla płaskiej powierzchni przy wymianie ciepła z konwekcją swobodną i wymuszoną.

Przebieg

1. Upewnij się, że kanał jest idealnie pionowy, ponieważ będzie to miało wpływ na wyniki.
2. Zdejmij wentylator z górnej części kanału (jak pokazano w „Instrukcji montażu wentylatora”).
3. Zamocuj płaską powierzchnię wymiany ciepła (zgodnie z „Instrukcją montażu modułu powierzchni wymiany ciepła”).
4. Przygotuj pustą tabelę wyników, podobną do tabeli 8. W przypadku korzystania z systemu VDAS®, oprogramowanie utworzy tabelę automatycznie po rozpoczęciu pomiarów.
5. Włącz grzałkę i ustaw jej moc na 20 W.
6. Przesuń ruchomą sondę tak, aby jej suwak wskazywał pozycję zero (patrz „Korzystanie z ruchomej sondy pomiarowej”). Zweryfikuj, czy w tym położeniu jej końcówka dotyka przeciwległej ściany kanału. Następnie przesun ją o 1 mm.
7. **Odczekaj, aż temperatura się ustabilizuje** i wówczas zapisz temperaturę powierzchni, wlotu powietrza i sondy ruchomej na wylocie z kanału.
8. Wybierz metodę pomiarową pomiędzy przesuwaniem sondy w równych krokach (jeśli czas na to pozwala) lub w większych, wykorzystując informacje zawarte w podrozdziale „Pomiar temperatury na wylocie z kanału (T_{wy})”. Wykonaj pomiary, zapisując wartości temperatur po każdym kroku, a następnie przesuwając ruchomą sondę do kolejnej pozycji. Zatrzymaj się po osiągnięciu 74 mm (wówczas końcówka jest prawie całkowicie wysunięta poza kanał).
9. Zamontuj wentylator i powtórz pomiary w przypadku konwekcji wymuszonej i przepływie powietrza wynoszącym 3 m/s.

Analiza wyników i wnioski

Dla każdej tabeli (tj. pomiaru przy konwekcji wymuszonej i swobodnej):

1. Sporządź wykres różnicy $T_p - T_{we}$, aby zobaczyć profil temperatury niezależny od warunków temperatury otoczenia.
2. Wyznacz T_{wy} korzystając z jednej z metod opisanych w podrozdziale: „Pomiar temperatury na wylocie z kanału (T_{wy})”.
3. Wyznacz wartość średnią dla pozostałych czujników temperatury.
4. Korzystając z wyznaczonej wartości T_{wy} i średniego odczytu pozostałych temperatur, oblicz średnią logarytmiczną różnicę temperatur T_m (patrz równanie (4)).
5. Wyznacz współczynnik przenikania ciepła h_c (zakładając, że przepływ ciepła jest równy mocy grzałki).
6. Znajdź przewodność cieplną k_{pow} dla powietrza o temperaturze otoczenia (na wlocie do kanału).
7. Korzystając z wyznaczonych wartości h_c i k_{pow} oblicz liczbę Nusselta.
8. Porównaj uzyskane wyniki z wartościami normalnymi podanymi w rozdziale teoretycznym.

Doświadczenie 9: Konwekcja swobodna dla powierzchni poziomej i pionowej

Uwaga



Eksperyment ten najlepiej jest wykonywać z wykorzystaniem żebrowanej powierzchni wymiany ciepła.

Wprowadzenie

Jak pokazano w części teoretycznej, względna orientacja (pozioma, pionowa lub płaska) niektórych powierzchni wymiany ciepła wpływa na ich efektywność w konwekcji swobodnej. Ten eksperyment wykorzystuje moduł płyty z żebrowaniem do pokazania tego efektu.

Cel

Porównanie konwekcji ciepłej poziomej i pionowej powierzchni żebrowej.

Przebieg

Uwaga



W czasie doświadczenia staraj się zachować jak najmniejszy przepływ powietrza wokół stanowiska. Każdy podmuch (nawet oddech) blisko powierzchni będzie miał wpływ na wyniki.

1. Ostrożnie oprzyj płytę żebrowaną na blacie przy stanowisku, kierując ją żebrami ku górze.

Pozycja pionowa



Pozioma



Rys. 24. Powierzchnia żebrowana w pozycji pionowej i poziomej

2. Sporządź tabelę wyników pomiarów, podobnie do tabeli 9. W przypadku korzystania z systemu VDAS®, oprogramowanie utworzy tabelę automatycznie po rozpoczęciu pomiarów.

Płyta żebrowana Moc grzałki = 30 W			
Pozycja płyty żebrowanej	T ₁ lub T ₃	T ₂	T _s -T _{we} (°C)
	Wlot kanału (otoczenie) T _{we} (°C)	Temperatura powierzchni T _s (°C)	
Pionowo (żebrami do góry)			
Poziomo (żebrami poziomo)			

Tab. 9. Pusta tablica wyników pomiarów w doświadczeniu 9

3. Podłącz przewód zasilania do grzałki oraz sondę pomiaru temperatury na powierzchni modułu.
4. Dla wyznaczenia temperatury odniesienia, podłącz sondę T_1 lub T_3 i oprzyj ją na biurku przed jednostką główną.
5. Ustaw moc grzałki na 30 W.

Uwaga



W zależności od lokalnych warunków, powierzchnia może zacząć przekraczać 95 °C. Jeśli tak się stanie, należy spróbować zmniejszyć moc grzałki.

Aby uzyskać najlepsze wyniki, utrzymuj powietrze wokół powierzchni w bezruchu.

UWAGA!



Nie dotykaj powierzchni wymiany ciepła.

6. **Zaczekaj, aż temperatura się ustabilizuje**, a następnie wykonaj pomiar temperatury powierzchni i otoczenia.
7. Wyłącz grzałkę i odczekaj, aż powierzchnia ostygnie do temperatury otoczenia.
8. Ostrożnie oprzyj urządzenie na boku tak, aby jego żebra były ułożone poziomo.
9. Powtórz eksperyment, utrzymując moc na tym samym poziomie.
10. Wyłącz grzałkę i pozwól powierzchni ostygnąć do temperatury otoczenia.

Analiza wyników i wnioski

Dla każdego zestawu wyników należy wyznaczyć różnicę temperatury powierzchni wymiany ciepła i temperatury otoczenia. Pomaga to uwzględnić lokalną zmianę temperatury względem otoczenia.

Porównaj różnicę temperatury dla konwekcji pionowej i poziomej powierzchni ożebrowanych. Czy jest ona zgodna z tym, co przedstawiono w części teoretycznej?

Przykładowe wyniki pomiarów

Uwaga

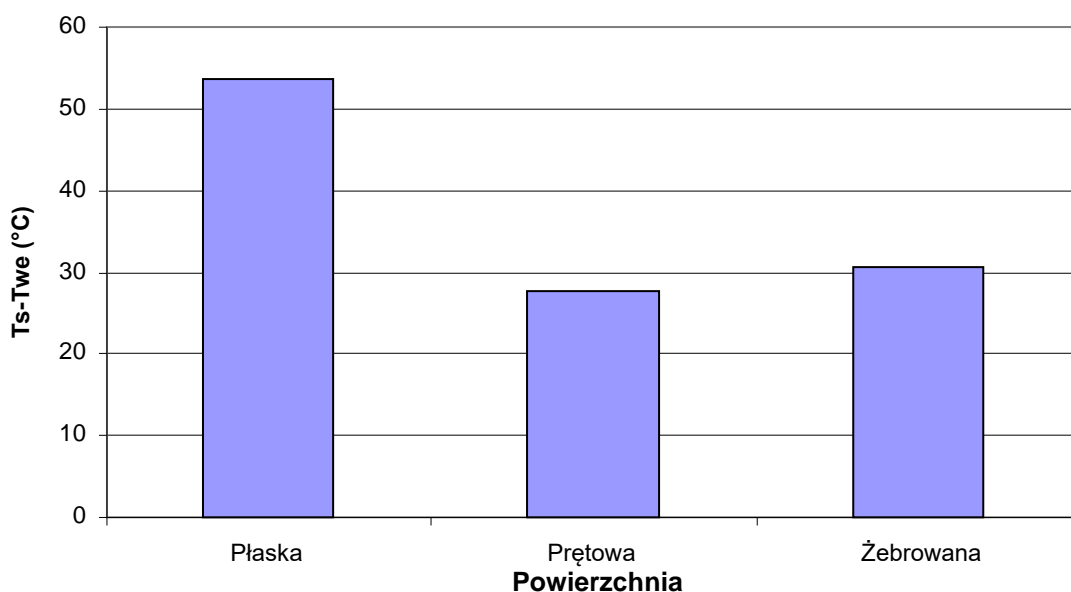


Poniższe wyniki są tylko przykładowe. Wartości wyznaczone doświadczalnie mogą się od nich nieco różnić.

Wszystkie wyniki opierają się na badaniach przeprowadzonych w zamkniętym pomieszczeniu o stabilnych warunkach i temperaturze około 20 °C.

Doświadczenie 1: Konwekcja swobodna – stała moc grzałki

Maksymalna różnica temperaturowa przy konwekcji swobodnej i mocy źródła ciepła 15 W

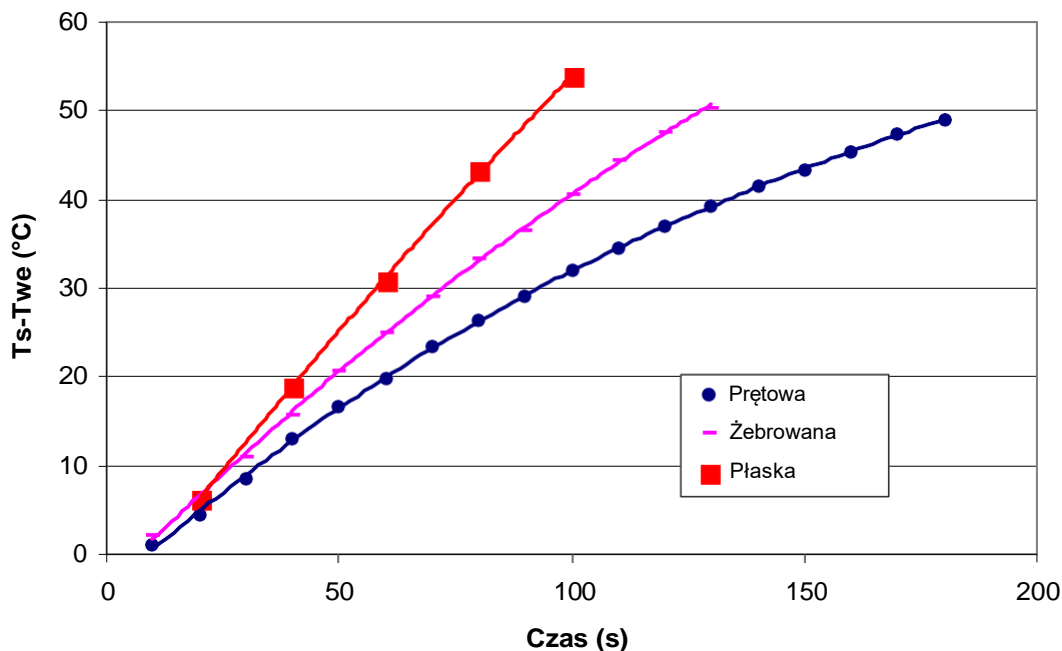


Rys. 25. Typowe wyniki doświadczenia 1

Wyniki pokazują, że płaska powierzchnia staje się dużo gorętsza, a pozostałe dwie mają zbliżone do siebie temperatury przy konwekcji swobodnej i stałej mocy źródła ciepła.

Pokazuje to, że w konwekcji swobodnej płaska powierzchnia ma najmniejsze szanse na przekazanie energii cieplnej do otaczającego powietrza, w porównaniu do dwóch powierzchni o większym polu powierzchni.

Doświadczenie 2: Konwekcja swobodna – szybkie porównanie



Rys. 26. Typowe wyniki doświadczenia 2

Wyniki pokazują, że przy stałej mocy wejściowej, powierzchnia płaska osiąga daną temperaturę szybciej niż pozostałe dwie powierzchnie. Pręty walcowe potrzebują najwięcej czasu.

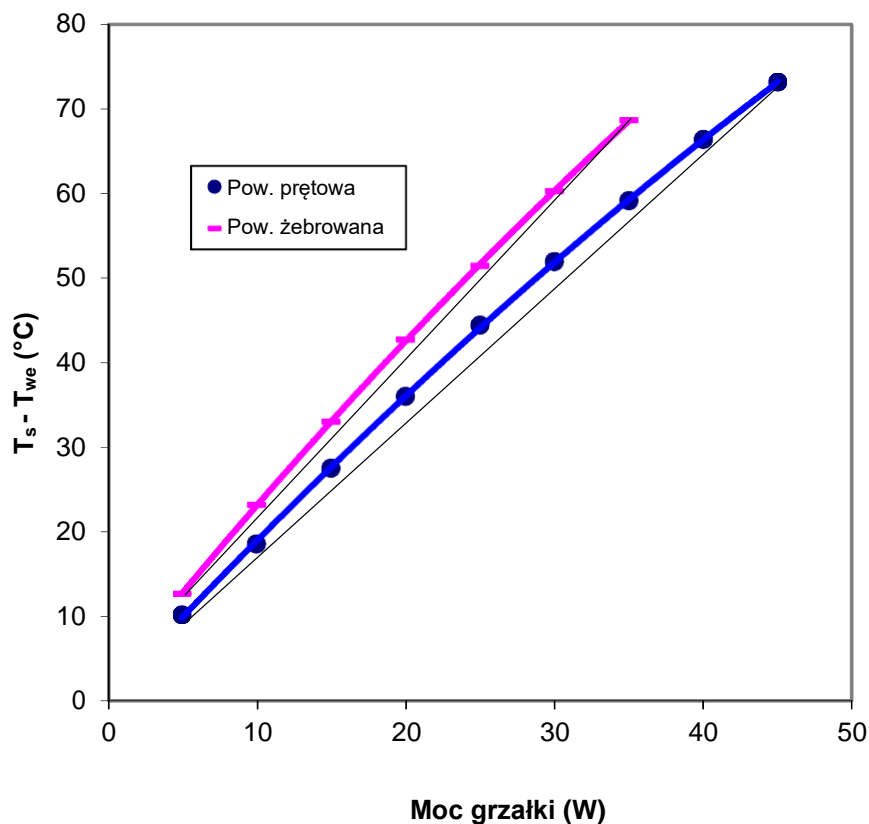
Podane masy modułów wymiany ciepła dają wskazówkę na temat masy termicznej każdej powierzchni i tego, dlaczego potrzebują różnego czasu, aby osiągnąć daną temperaturę.

Przeprowadzone doświadczenie jest tylko wskazówką, ponieważ na szybkość nagrzewania się każdej powierzchni mają wpływ także inne czynniki. Należą do nich fizyczna budowa powierzchni oraz sposób, w jaki przepuszcza ona powietrze w procesie konwekcji swobodnej. Kolejne testy powinny pozwolić pogłębić wiedzę na ten temat.

Doświadczenie 3: Konwekcja swobodna – zależność temperatury od mocy grzałki

Powierzchnia prętowa i żebrowana

Zależność temperatury od mocy źródła ciepła przy konwekcji swobodnej



Rys. 27. Typowe wyniki doświadczenia 3

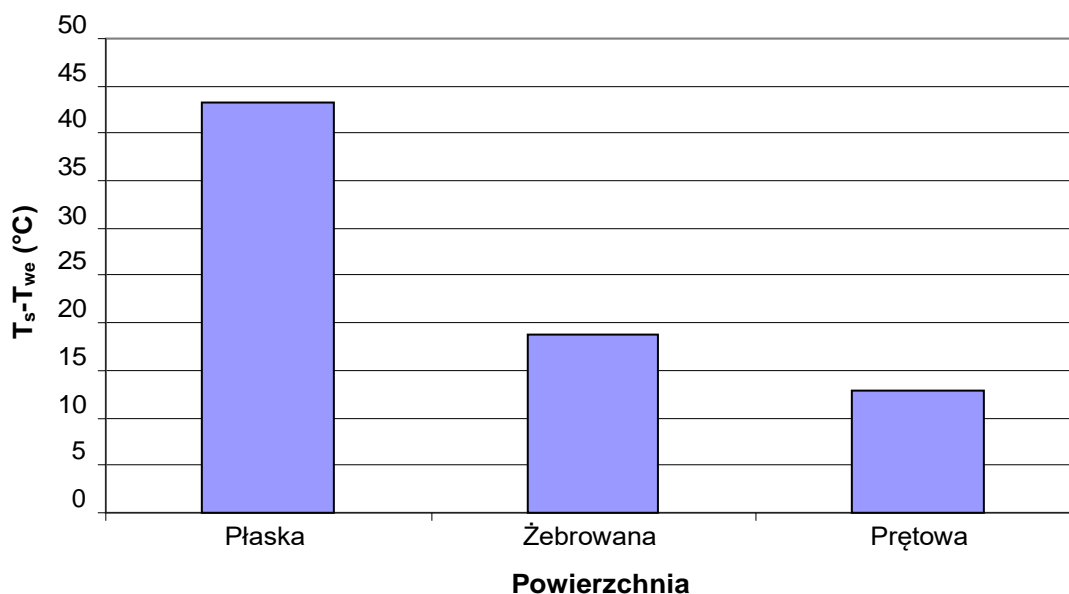
Wyniki powinny wykazać, że powierzchnia staje się coraz gorętsza w miarę zwiększania mocy źródła ciepła. Z drugiej strony, gdy temperatura powierzchni rośnie, zwiększa się efektywność konwekcyjnych prądów powietrza i więcej mocy cieplnej można rozproszyć.

Wykres na rys. 27 pokazuje dodatkowo linie proste pod każdą krzywą, które wskazują na istnienie nieliniowej zależności.

Poza tym możemy przypuszczać, że przyciemnienie powierzchni poprawiłoby ich zdolność do przekazywania energii cieplnej, ale bardziej poprzez promieniowanie niż proces konwekcji.

Doświadczenie 4: Konwekcja wymuszona – stała moc grzałki

Konwekcja wymuszona (prędkość powietrza 2 m/s)
Maksymalna różnica temperatur przy mocy grzałki 15 W



Rys. 28. Typowe wyniki doświadczenia 4

Wyniki ponownie pokazują, że płaska powierzchnia przekazuje ciepło do powietrza najmniej efektywnie, nawet w przypadku konwekcji wymuszonej. W każdym przypadku temperatura powierzchni zmniejszyła się w porównaniu z wynikami konwekcji swobodnej, co dowodzi teorii, że konwekcja wymuszona pomaga poprawić wymianę ciepła. Należy zauważyć, że powierzchnia prętowa wykazała największą poprawę, ponieważ ma najniższą temperaturę spośród powierzchni podczas konwekcji wymuszonej.

Doświadczenie 5: Konwekcja wymuszona – opór przepływu powietrza

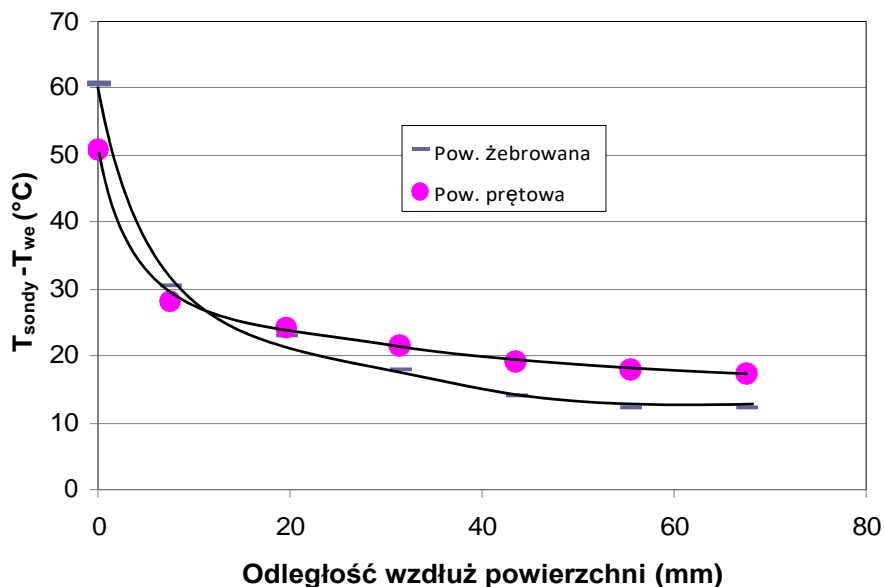
Powierzchnia wymiany ciepła	Przepływ powietrza (m/s)
Powierzchnia płaska	3 (punkt odniesienia)
Powierzchnia prętowa	2.4
Powierzchnia żebrowana	2.75

Tab. 10. Typowe wyniki doświadczenia 5

Wyniki powinny pokazać, że powierzchnia z prętami zmniejsza zauważalnie natężenie przepływu (stanowi największą przeszkodę). W praktycznych zastosowaniach opór ten jest o tyle istotny, że wpływa na wielkość i moc wentylatora potrzebnego do napędzenia przepływu powietrza wokół powierzchni wymiany ciepła w konwekcji wymuszonej.

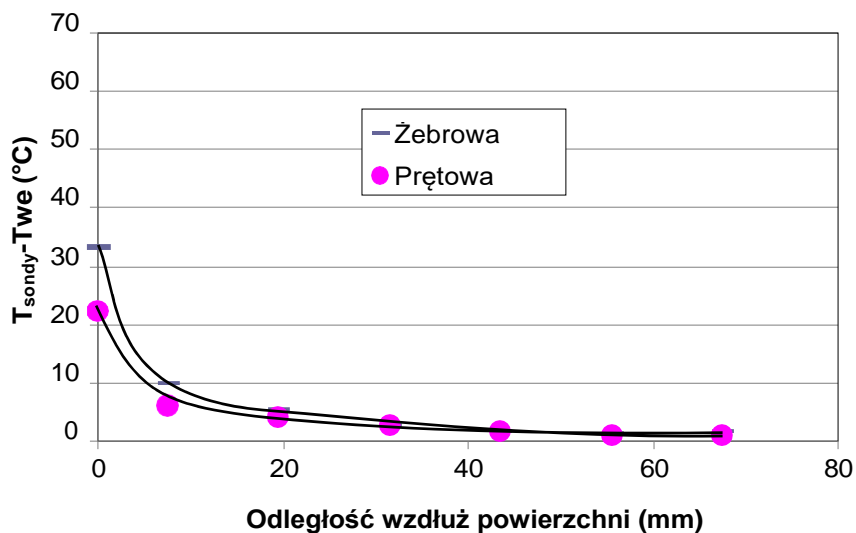
Doświadczenie 6: Rozkład temperatury wzdłuż powierzchni

Pomiar temperatury na powierzchni żebrowanej i prętowej Konwekcja swobodna



Rys. 29. Typowe wyniki doświadczenia 6 przy konwekcji swobodnej

Pomiar temperatury na powierzchni żebrowanej i prętowej Konwekcja wymuszona

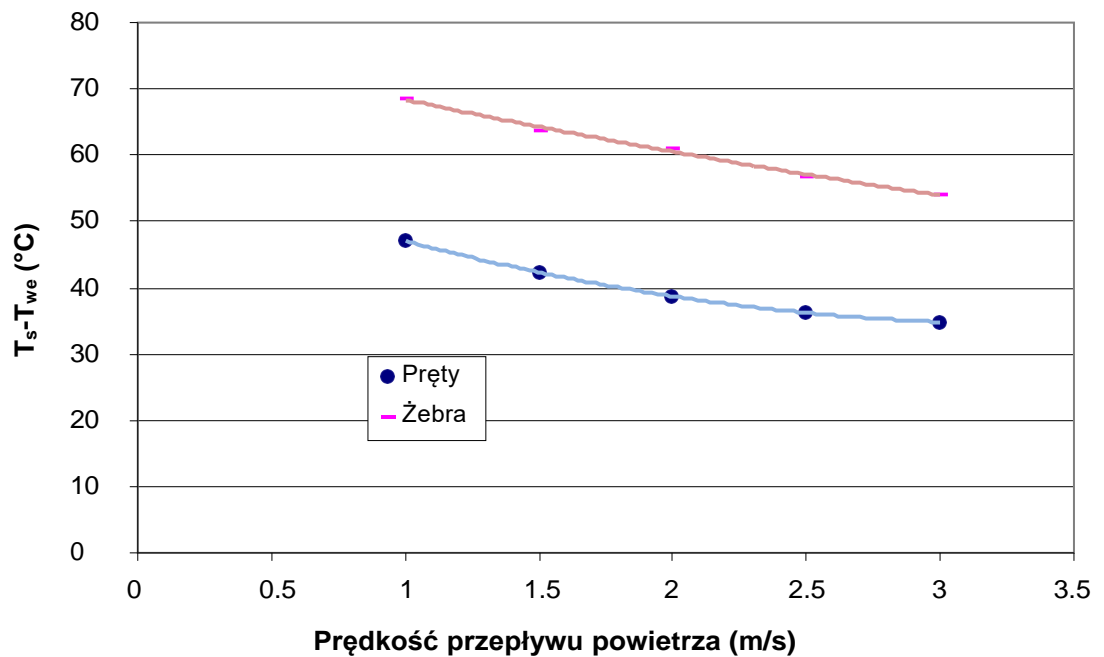


Rys. 30. Typowe wyniki doświadczenia 6 przy konwekcji wymuszonej

Wyniki powinny pokazać mniejszy gradient i niższe temperatury dla konwekcji wymuszonej. Pokazuje to, że daje ona bardziej równomierny rozkład temperatury, co przekłada się na bardziej efektywną wymianę ciepła. Gdyby powierzchnie podłużne były wykonane z idealnego przewodnika, gradient byłby prawie poziomy i powierzchnia miałaby maksymalną wydajność wymiany ciepła.

Doświadczenie 7: Konwekcja wymuszona – wpływ prędkości

Temperatura powierzchni prętowej i żebrowej przy mocy źródła ciepła 50 W w zależności od prędkości przepływu powietrza



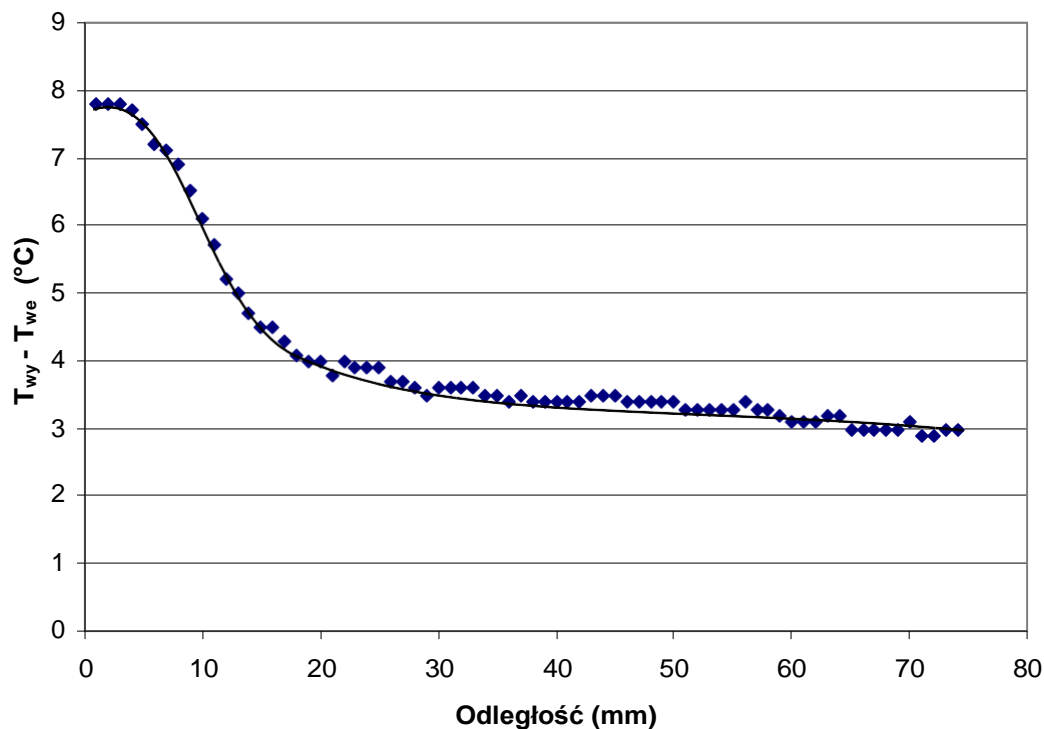
Rys. 31. Typowe wyniki doświadczenia 7

Wyniki doświadczenia powinny wykazać, że powierzchnie stają się chłodniejsze wraz ze wzrostem prędkości przepływu powietrza. Powierzchnia prętowa ma niższą temperaturę niż żebrowana przy każdej prędkości powietrza.

Doświadczenie 8: Współczynnik przenikania ciepła i liczba Nusselta

Konwekcja swobodna

Rozkład różnicy temperatur $T_{wy}-T_{we}$ wzdłuż powierzchni przekroju kanału
Konwekcja swobodna płaskiej płyty

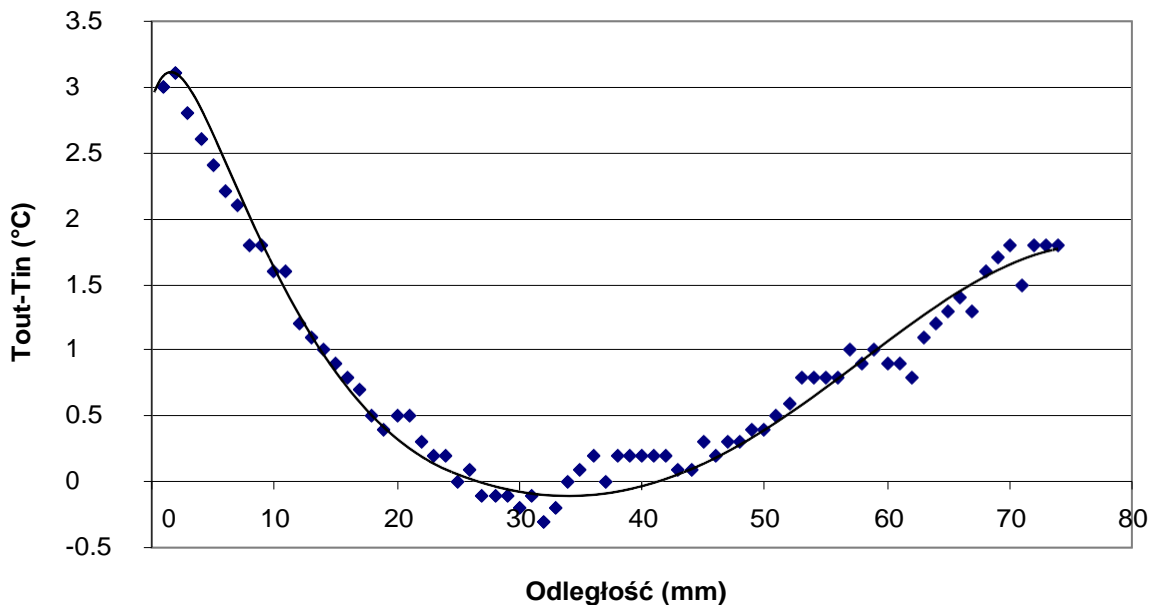


Rys. 32. Typowe wyniki konwekcji swobodnej w doświadczeniu 8

- Na podstawie średniej z 73 punktów pomiarowych (w odstępach co 1 mm od 1 do 74 mm) temperatura na wylocie z kanału: $T_{wy} = 26,2 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Średnia temperatura na wlocie do kanału: $T_{we} = 22,1 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Średnia temperatura powierzchni wymiany ciepła: $T_s = 96,8 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Moc źródła ciepła (grzałki): $P = 19,9 \text{ W}$
- Logarytmiczna temperatura średnia: $T_m = \frac{26,2-22,1}{\ln \frac{96,8-22,1}{96,8-26,2}} = \frac{4,1}{\ln \frac{74,7}{70,6}} = \frac{4,1}{0,05645} = 72,63 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Konwekcyjny współczynnik przenikania ciepła: $h_c = \frac{19,9}{0,0112 \times 72,63} = \frac{19,9}{0,813} = 24,48 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$
- Liczba Nusselta: $Nu = 24,48 \times \frac{0,106}{0,026} = 99,8$

Konwekcja wymuszona

Rozkład różnicy temperatur $T_{wy}-T_{we}$ wzdłuż powierzchni przekroju kanału Konwekcja swobodna płaskiej płyty



Rys. 33. Typowe wyniki konwekcji wymuszonej w doświadczeniu 8

- Na podstawie średniej z 73 punktów pomiarowych (w odstępach co 1 mm od 1 do 74 mm) temperatura na wylocie z kanału: $T_{wy} = 23,0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Średnia temperatur na wlocie do kanału: $T_{we} = 22,2 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Średnia temperatura powierzchni wymiany ciepła: $T_s = 74,5 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Moc źródła ciepła (grzałki): $P = 20 \text{ W}$
- Logarymiczna temperatura średnia: $T_m = \frac{23,0-22,2}{\ln \frac{74,5-22,2}{74,5-23,0}} = \frac{0,8}{\ln \frac{52,3}{51,5}} = \frac{0,8}{0,0154} = 51,95 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Konwekcyjny współczynnik przenikania ciepła: $h_c = \frac{20}{0,0112 \times 51,95} = \frac{20}{0,58} = 34,48 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$
- Liczba Nusselta: $Nu = 34,48 \times \frac{0,106}{0,026} = 140,6$

Wyniki pokazują, że konwekcja swobodna daje niższe wartości współczynnika przenikania ciepła i liczby Nusselta niż konwekcja wymuszona. Liczby te generalnie są zgodne z teorią.

Należy pamiętać, że z powodu niewielkich różnic temperaturowych elementów i postaci profilu temperatury w kanale, może wystąpić temperatura niższa na wylocie niż na wlocie, jednak nie mniejsza niż ok. $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Doświadczenie 9: Konwekcja swobodna dla powierzchni poziomej i pionowej

Płyta żebrowana Moc grzałki = 30 W			
Pozycja płyty żebrowanej	T_1 lub T_3	T_2	$T_s - T_{we}$ (°C)
	Wlot kanału (otoczenie) T_{we} (°C)	Temperatura powierzchni T_s (°C)	
Pionowo (żebkami do góry)	22,2	87,7	65,5
Poziomo (żebkami do dołu)	22,3	93,9	71,6

Tab. 11. Typowe wyniki doświadczenia 9

Wyniki powinny pokazać, że powierzchnia żebrowana staje się gorętsza dla tej samej mocy wejściowej źródła ciepła, gdy znajduje się w pozycji poziomej. Pokazuje to, że wówczas nie przekazuje ciepła tak skutecznie, jak w pozycji pionowej lub płaskiej.

Literatura naukowa

„Basic Engineering Thermodynamics”

Autor: Rayner Joel

Wydawnictwo: Longman

ISBN 0-582-25629-1

„Engineering Thermodynamics”

Autor: G.F.C Rogers i Y.R Mayhew

Wydawnictwo: Longman

ISBN 0-582-02704-7

„Heat Transfer”

Autor: J.P Holman

Wydawnictwo: McGraw Hill

ISBN 978-0-07-352936-3

Konserwacja, części zamienne oraz obsługa klienta

Konserwacja

Ogólne wskazówki

- Regularnie sprawdzaj wszystkie części urządzenia pod kątem uszkodzeń, w razie potrzeby dokonaj wymiany.
- Gdy urządzenie nie jest używane, należy je przechowywać w suchym, wolnym od kurzu miejscu, najlepiej przykryte plastikową osłoną.
- Jeśli urządzenie ulegnie zabrudzeniu, należy przetrzeć jego powierzchnie wilgotną, czystą szmatką. Jednak nie należy używać ściernych środków czyszczących.
- Regularnie sprawdzaj szczelność wszystkich mocowań i elementów złącznych. W razie potrzeby dokręć i wyreguluj.

Uwaga



Renowacja lub wymiana wadliwych bądź uszkodzonych części powinna być przeprowadzana z wykorzystaniem jednakowych elementów lub równoważnych o takich samych parametrach.

Elektryczność

UWAGA!



Konserwację elektryczną może przeprowadzić tylko wykwalifikowana osoba.

Przestrzegaj następujących procedur:

- Zakładaj, że urządzenie jest pod napięciem, dopóki nie masz pewności, że odłączono je od zasilania elektrycznego.
- Używaj izolowanych narzędzi wszędzie tam, gdzie istnieje możliwość wystąpienia zagrożenia porażeniem elektrycznym.
- Należy upewnić się, że obwód uziemiający jest ciągły.
- Zidentyfikuj przyczynę przepalenia bezpiecznika przed jego wymianą.

W celu wymiany bezpiecznika:

- Bezpiecznik znajduje się z tyłu urządzenia, obok złącza zasilania sieciowego. Użyj śrubokręta z małym płaskim końcem, aby wyjąć osłonę bezpieczeństwa.
- Odłącz urządzenie od zasilania elektrycznego.
- Wymień przepalony bezpiecznik elektryczny na nowy o takich samych parametrach.
- Zamknij obudowę i podłącz urządzenie do zasilania elektrycznego. Następnie włącz je.
- Jeśli ponownie dojdzie do awarii, skontaktuj się z firmą TecEquipment Ltd lub jej przedstawicielem, w celu uzyskania pomocy technicznej.

Uwaga



Wymiana lub naprawa uszkodzonych elementów i kabli powinna być wykonana z zachowaniem parametrów technicznych.

Części zamienne

Zweryfikuj listę części opakowania, aby dowiedzieć się, jakie części 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
- Nazwa 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 części zamiennych.

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

W Polsce firma TecQuipment reprezentowana jest przez dystrybutora:

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/>