

# 35 Konwekcja swobodna i wymuszona – zależność temperatury powierzchni wymiany ciepła od mocy grzałki

Film instruktażowy tutaj:

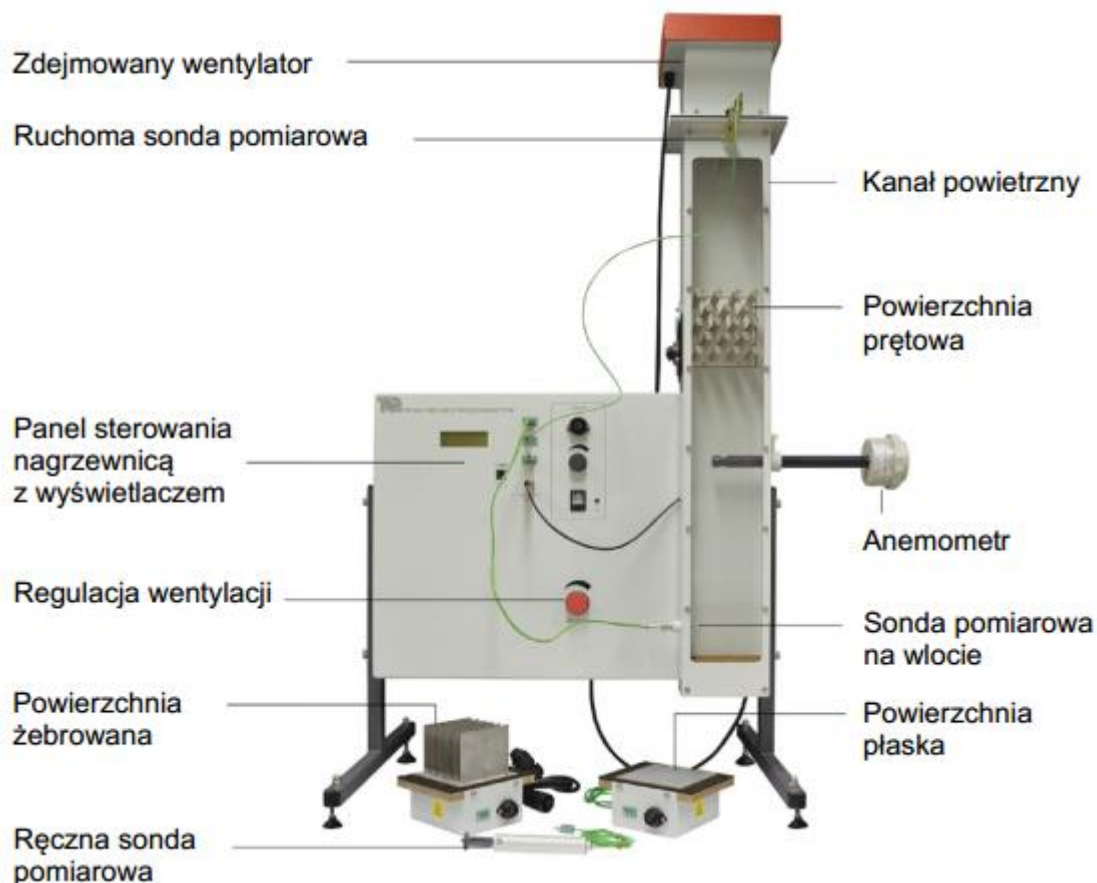
[https://drive.google.com/file/d/1i5Y7bkm3ZhlUJj\\_5TCZ13EggN\\_WdXYzp/vie w?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1i5Y7bkm3ZhlUJj_5TCZ13EggN_WdXYzp/vie w?usp=sharing)

## 36.1 Wprowadzenie.

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

## 36.2 Opis doświadczenia

Na poniższym rysunku jest przedstawione stanowisko do badania konwekcji swobodnej i wymuszonej. Rys.1

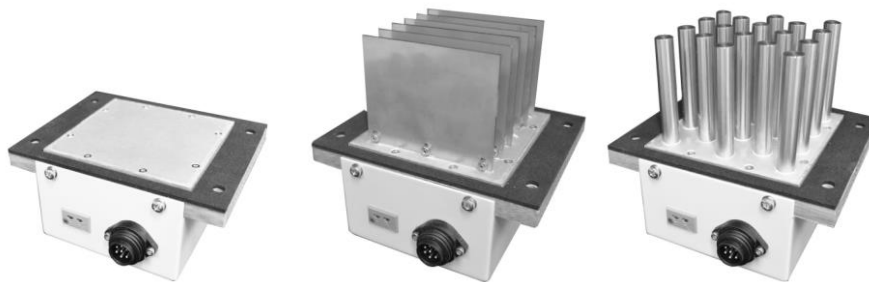


Rys.1 Stanowisko do badania konwekcji swobodnej i wymuszonej

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 wylocie. Prócz tego stanowisko zostało wyposażone w anemometr mierzący prędkość przepływu powietrza w kanale.

Jednostka podstawowa dostarcza bezpieczne, niskonapięciowe zasilanie dla grzałki (źródła ciepła), zamontowanej w każdej z wymiennych powierzchni wymiany ciepła oraz regulowane zasilanie 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.

### 36.2.1 Badane powierzchnie wymiany ciepła



Rys.2 Moduł powierzchni płaskiej, żebrowanej i z prętami

#### ***Powierzchnia płaska***

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***

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 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 żeberkowej, dąży się do zwiększenia powierzchni wymiany ciepła do otaczającego płynu lub powietrza (jak w tym eksperymencie)

## Moduły powierzchni wymiany ciepła

Nazwa	Opis
<b>Powierzchnia płaska</b>	Wymiary netto: 160 mm x 140 mm x 55 mm, masa netto 810 g. Budowa: płyta aluminiowa 3 mm. Powierzchnia całkowita: 106 mm x 106 mm = 0,0112 m <sup>2</sup> . Termopara typu K pod powierzchnią płyty aluminiowej.
<b>Powierzchnia żeberkowana</b>	Wymiary netto: 160 mm x 140 mm x 125 mm, masa netto 1227 g. Budowa: - 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. Powierzchnia całkowita: 0,092 m <sup>2</sup> (łącznie z końcami żeber). Termopara typu K pod powierzchnią płyty aluminiowej.
<b>Powierzchnia prętowa</b>	Wymiary netto: 160 mm x 140 mm x 125 mm, masa netto 1836 g. Budowa: - płaska płyta aluminiowa - 106 mm x 106 mm x 3mm, - 18 prętów ze stali nierdzewnej prostopadłych do płyty - ø12 mm x 73 mm. Powierzchnia całkowita: 0,027 m <sup>2</sup> (łącznie z końcami prętów). Termopara typu K pod powierzchnią płyty aluminiowej.

Tabela 1. Wymiary powierzchni

**Odslonięta 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).

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

## 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). Stopień 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 <sup>2</sup> . Przybliżona długość: 850 mm. Nominalna prędkość powietrza: >3.8 m.s <sup>-1</sup> dla płaskiej płyty, podczas innych eksperymentów normalnie ≤3.5 m.s <sup>-1</sup> . 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 <sup>-1</sup>

Tabela 2 Specyfikacja techniczna jednostki podstawowej

### 36.3 Sposób przeprowadzenia doświadczenia

#### Uwaga

Doświadczenie przeprowadzone może zostać wyłącznie dla powierzchni żebrowej i powierzchni z prętami.

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.

*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.*

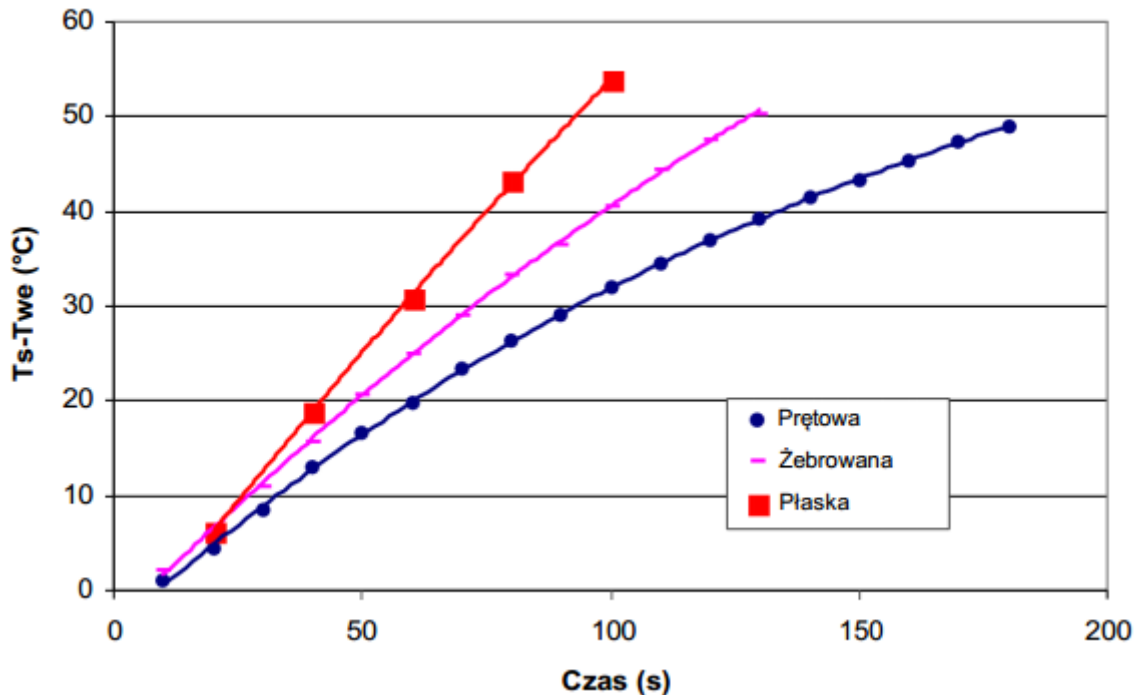
1. Zdejmij wentylator z górnej części kanału (jak pokazano w „Instrukcji montażu wentylatora”).
2. Zamocuj powierzchnię żebrowaną lub prętową (zgodnie z „Instrukcją montażu modułu powierzchni wymiany ciepła”).
3. Przygotuj pustą tabelę wyników, podobną do tabeli 3. W przypadku korzystania z systemu VDAS®, 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. Odczekaj, aż układ się ustabilizuje, a następnie zapisz wartości temperatury na powierzchni wymiany ciepła oraz wlocie 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)
- 10. Powtórz zadanie w warunkach konwekcji wymuszonej dla prędkości powietrza 2m/s**

Powierzchnia wymiany ciepła: żebrowana / prętowa			
Moc (W)	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	Różnica temperatur T <sub>s</sub> - T <sub>we</sub> (°C)
	Temperatura powierzchni T <sub>s</sub> (°C)	Wlot kanału (otoczenie) T <sub>we</sub> (°C)	
0			
5			
10			
15			
20			
25			
30			
35			
40			
45			
50			

Tabela.3 Tabela danych pomiarowych

### Analiza wyników

Spodziewamy się wyników jak na rys. 3.



Rys.3 Typowe wyniki doświadczenia dla konwekcji swobodnej (jak ułożą się wyniki dla konwekcji wymuszonej?)

1. W każdej tabeli w ostatniej kolumnie należy wyznaczyć różnicę temperatury powierzchni wymiany ciepła i temperatury na wlocie. Pomoże to uwzględnić zmianę temperatury względem otoczenia.
2. Sporządź wykres różnicy temperatur (oś pionowa) w zależności od mocy (oś pozioma). Jeśli wykonano pomiary dla obu powierzchni, zaznacz wyniki na jednej charakterystyce porównawczej.
3. Zastanów się jak przyciemnienie powierzchni wymiany ciepła mogłoby wpłynąć na wyniki? Pomyśl o innych sposobach wymiany ciepła.

## 36.5 Pytania sprawdzające.

1. Na czym polega zjawisko konwekcji
2. Czym różni się konwekcja wymuszona od konwekcji swobodnej .
3. Jakie jest podstawowe prawo w obszarze konwekcji?
4. Co to jest współczynnik wnikania (przejmowania) Newtona, jak się go definiuje i wyznacza?
5. Podaj prawo Newtona , gdzie ma zastosowanie?
6. W jaki sposób szybkość przepływającego powietrza wpływa na wartość współczynnika Newtona?
7. Co to jest termiczna warstwa przyścienna?