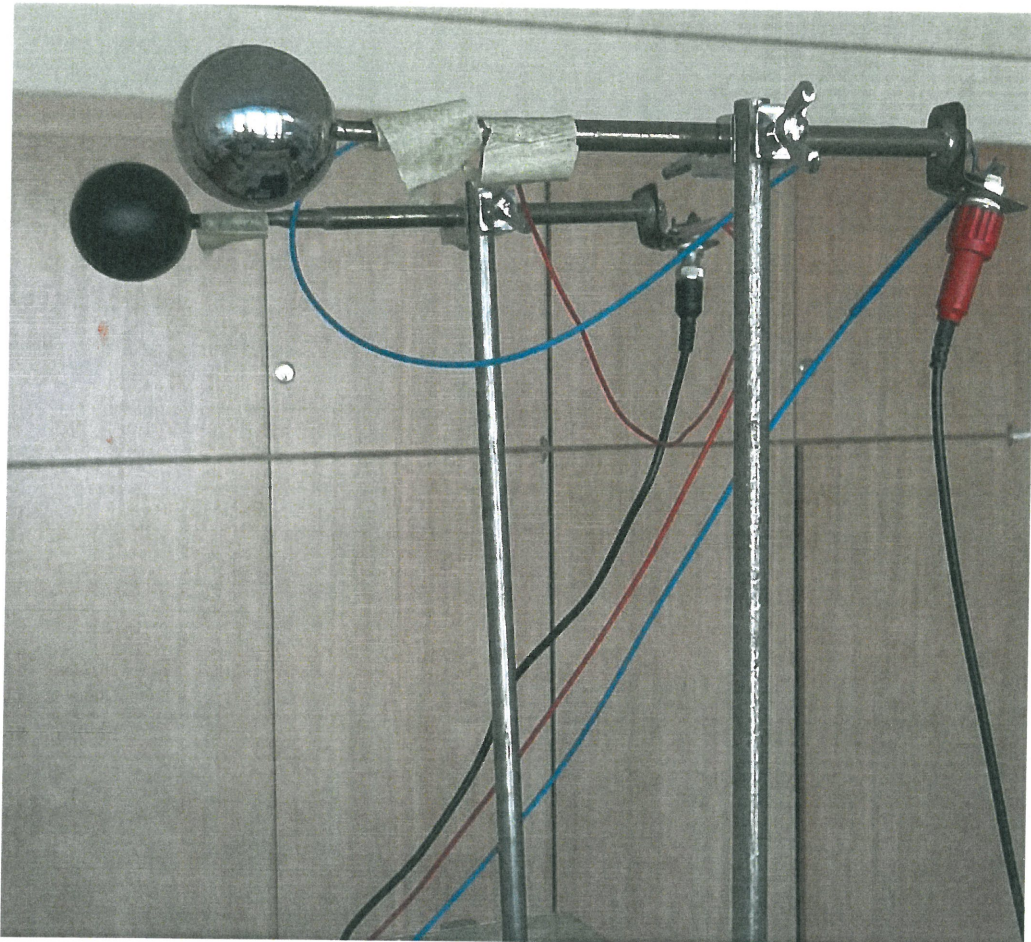


18

**Pomiar radiacyjnego strumienia ciepła**



1. Każda powierzchnia o temperaturze powyżej 0 [K] otoczona płynem optycznie przezroczystym wypromieniowuje do otoczenia strumień ciepła będący funkcją jej temperatury  $T_w$ .

Proces ten jest niezależny od zjawisk konwekcyjnych zachodzących na tej samej powierzchni. Oznacza to, że strumień ciepła przejmowany z powierzchni jest sumą konwekcji i promieniowania czyli:

$$Q = Q_k + Q_r$$

Konwekcję opisuje równanie

$$Q_k = \alpha_k (T_w - T_f) A$$

gdzie:

$\alpha_k$	$\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$	- średni całkowity współczynnik przejmowania ciepła
$A$	$[m^2]$	- powierzchnia
$T_w$	$[K]$	- temperatura powierzchni
$T_f$	$[K]$	- temperatura płynu

Radiacyjny strumień ciepła określa równanie

$$Q_r = C_0 \varepsilon_{1-2} A \left( \left( \frac{T_w}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_\infty}{100} \right)^4 \right) \frac{1}{\Delta T}$$

gdzie:

$\varepsilon_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A}{A_\infty} \left( \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}$	- efektywny współczynnik emisji układu powierzchni $A$ otoczonej powierzchnią $A_\infty$
$\varepsilon_1$	- współczynnik emisji powierzchni $A$
$\varepsilon_2$	- współczynnik emisji powierzchni $A_\infty$ otaczającej powierzchnie $A$
$C_0 = 5,67 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$	- stała promieniowania ciała doskonale czarnego razy $10^8$

W oparciu o te równania można wyznaczyć zastępczy radiacyjny współczynnik przejmowania ciepła

$$\alpha_r = \frac{Q_r}{A(T_w - T_f)}$$

W rezultacie łączny strumień ciepła przekazywany do otoczenia można wyznaczyć z równania

$$Q = (\alpha_k + \alpha_r)(T_w - T_f)A$$

zakładając, że  $T_\infty = T_f$ .

## 2. Pomiar radiacyjnego strumienia ciepła.

Układ pomiarowy składa się z dwóch kul o średnicy  $D = 50$  mm różniących się emisyjnością powierzchni. Powierzchnia jednej kuli pokryta jest polerowanym chromem  $\varepsilon_1 = 0,1$  a druga czarnym matowym lakierem o emisyjności  $\varepsilon_1 = 0,96$ . Kula wykonana jest z miedzi co zapewnia izotermiczność jej powierzchni przy umiarkowanych intensywnościach konwekcji. Kulki grzane są prądem elektrycznym z zasilaczy prądu stałego z jednoczesnym pomiarem prądu  $I$  i napięcia  $U$ . Wartości wielkości mierzonych rejestruje cyfrowy system akwizycji danych pomiarowych. Pomiar wykonujemy w warunkach stanu ustalonego utrzymując równe temperatury obu powierzchni. W tych warunkach konwekcyjny strumień ciepła na obu kulach będzie taki sam. Stąd różnica mocy elektrycznej zasilającej obie kulki jest efektem większej radiacji z czarnej kulki tzn.:

$$\Delta Q = Q_{0,96} - Q_{0,1} = [Q_k + Q_r]_{0,96} - [Q_k + Q_r]_{0,1} = [Q_r]_{0,96} - [Q_r]_{0,1}$$

Po podstawieniu relacji na radiacyjny strumień ciepła mamy

$$\Delta Q = [\varepsilon_{1-2}]_{0,96} AC_o \left( \left( \frac{T_w}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_f}{100} \right)^4 \right) - [\varepsilon_{1-2}]_{0,1} AC_o \left( \left( \frac{T_w}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_f}{100} \right)^4 \right)$$

stąd

$$\Delta Q = ([\varepsilon_{1-2}]_{0,96} - [\varepsilon_{1-2}]_{0,1}) AC_c \left( \left( \frac{T_w}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_f}{100} \right)^4 \right)$$

Zakładając, że iloraz  $A/A_\infty \approx 0$  mamy

$$\Delta Q = (\varepsilon_{0,96} - \varepsilon_{0,1}) AC_c \left( \left( \frac{T_w}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_f}{100} \right)^4 \right)$$

Przyjmując tablicowe wartości dla polerowanego chromu  $\varepsilon_{0,1} = 0,1$  i dla czarnego matowego lakieru  $\varepsilon_{0,96} = 0,96$  mamy wartość obliczeniową

$$\Delta Q = (0,96 - 0,1) AC_c \left( \left( \frac{T_w}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_f}{100} \right)^4 \right)$$

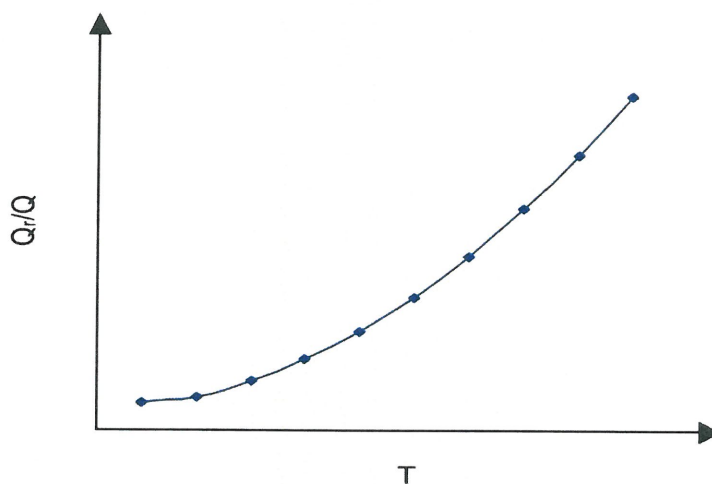
Mierz tę wartość jako różnicę mocy zasilania obu kulek możemy wyznaczyć niedokładność procedury obliczeniowej

$$\delta = \frac{\Delta Q_{oblicz} - \Delta Q_{pomiar}}{\Delta Q_{pomiar}} 100\%$$

Podstawowym źródłem powyższej niedokładności jest przybliżony charakter wartości współczynników emisyjności  $\epsilon$  odczytywanych z tablic.

Korzystając z wyników pomiarów i obliczeń wyznaczyć zmianę udziału radiacji  $Q_r$  w całkowitym strumieniu ciepła  $Q$  ze wzrostem temperatury powierzchni.

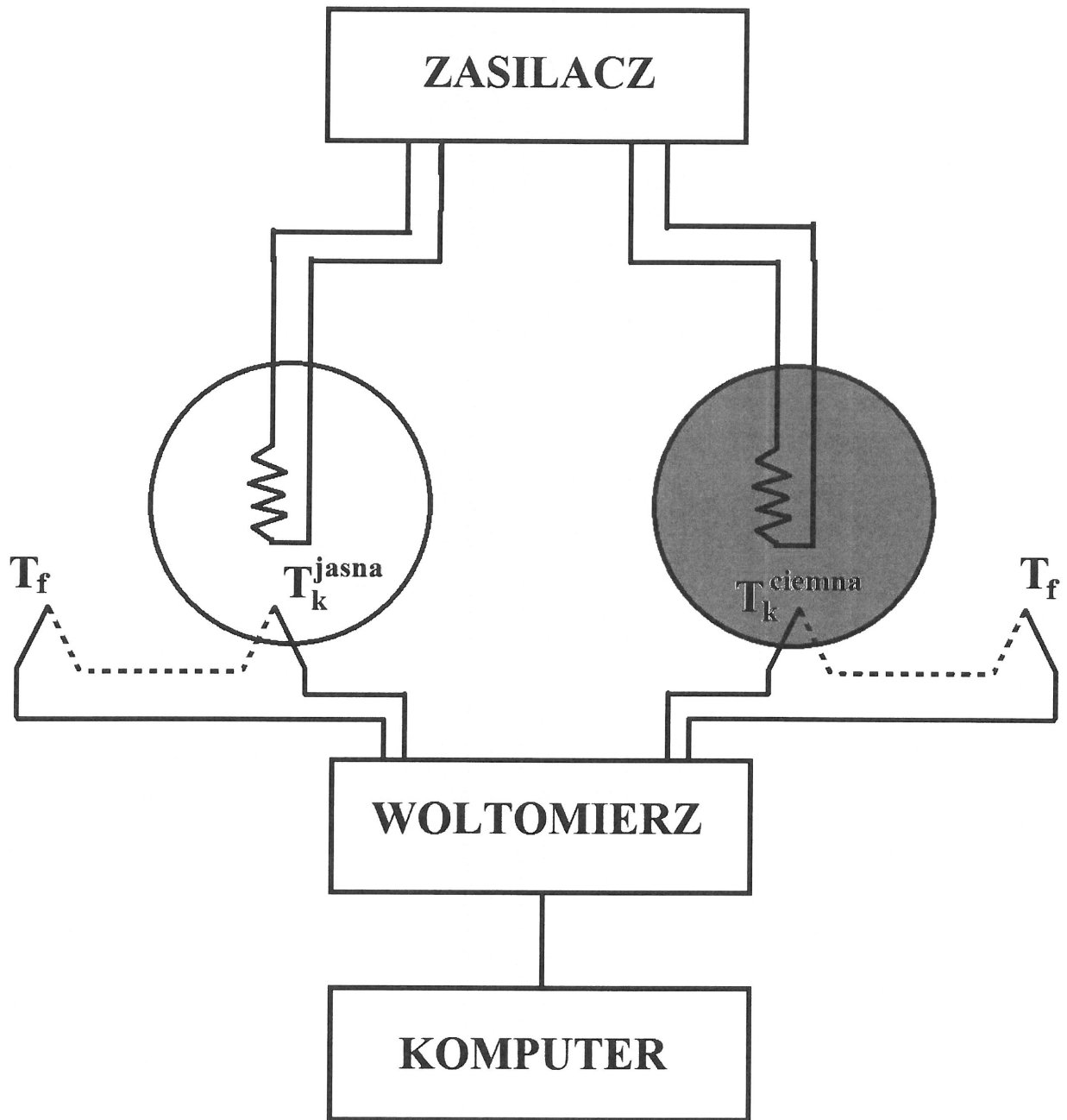
$$R_r(T) = \frac{Q_r(T)}{Q} 100\%$$



Tablica 6

Parametry fizyczne suchego powietrza przy ciśnieniu 760 mmHg

$T$ °C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ kJ/kg · K	$\lambda \cdot 10^2$ W/m · K	$\alpha \cdot 10^6$ m <sup>2</sup> /s	$\mu \cdot 10^6$ Pa · s	$\nu \cdot 10^6$ m <sup>2</sup> /s	Pr
-50	1,584	1,013	2,04	12,70	14,61	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	13,78	15,20	10,04	0,728
-30	1,453	1,013	2,20	14,92	15,69	10,80	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,20	16,18	12,79	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	17,45	16,67	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,81	17,16	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,06	17,65	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,42	18,14	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	22,86	18,63	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,31	19,12	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,72	19,61	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	27,20	20,10	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,97	28,56	20,59	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	30,20	21,09	21,09	0,692



Schemat stanowiska: Średnica kulek jest równa  $d=0,05[m]$  ;  $T_f$  temperatura powietrza,  $T_k$  temperatura jasnej/ciemnej kulki

POLITECHNIKA POZNAŃSKA Instytut Energetyki Ciepłej ite.put.poznan.pl			
Temat: <b>Pomiar radiacyjnego strumienia ciepła</b>			
Imię Nazwisko:		Rok akademicki:	
Nr indeksu:		Grupa:	
Data wykonania:	Data zaliczenia:	Ocena ze sprawdzianu:	Ocena z ćwiczenia:

1. Wykonaj schemat stanowiska pomiarowego (dołącz na dodatkowej kartce).

2. Dokonaj pomiarów

Stała/stabilizowana wielkość	Symbol	Wartość		Jednostka
Stała promieniowania ciała doskonale czarnego razy $10^8$	$C_0$			
Przyspieszenie ziemskie	$g$			
		Kula jasna	Kula ciemna	
Współczynnik emisji (z tablic)	$\varepsilon$			

Pomiary

Zmierzona wielkość	Symbol	Wartość		Jednostka
Średnica kul	$d$			[m]
Powierzchnia kul	$A = \pi d^2$			
Temperatura powietrza	$T_f$			[K]
		Kula jasna	Kula ciemna	
Napięcie	$U$			[V=W/A]
Natężenie	$I$			[A]
Temperatura kuli względem powietrza	$\Delta T_k$			[K]

3. Wyznacz udział radiacji w całkowitym strumieniu ciepła dla kuli jasnej i ciemnej oraz błąd względny obliczeń.

Obliczona wielkość	Symbol i wzór	Wartość		Jednostka
		Kula jasna	Kula ciemna	
Moc elektryczna	$Q_c = UI$			
Temperatura kulki	$T_k = \Delta T_k + T_f$			
Średnia temperatura kulek	$T_w = (T_k^{jasna} + T_k^{ciemna})/2$			
Różnica temperatur	$\Delta T_w = T_w - T_f$			
Radiacyjny współczynnik przejmowania ciepła	$\alpha_r = \frac{C_0 \varepsilon \left( \left( \frac{T_w}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_f}{100} \right)^4 \right)}{\Delta T_w}$			
Radiacyjny strumień ciepła	$Q_r = \alpha_r A \Delta T_w$			
Udziału radiacji w całkowitym strumieniu ciepła	$R = 100\% \cdot Q_r / Q_c$			
Różnica obl. radiacyjnych strumieni ciepła	$\Delta Q_r = Q_r^{ciemna} - Q_r^{jasna}$			
Różnica pomiarowych całkowitych strumieni ciepła	$\Delta Q_c = Q_c^{ciemna} - Q_c^{jasna}$			
Błąd względny obliczeń	$\delta = 100\% \cdot (\Delta Q_r - \Delta Q_c) / \Delta Q_c$			

4. Oblicz  $R$  dla  $T_w = 323[K]$ , bez znajomości  $U$  oraz  $I$ .

Obliczona wielkość	Symbol i wzór	Wartość		Jednostka
Różnica temperatur	$\Delta T = T_w - T_f$			
Temperatura obliczeniowa	$T_o = \frac{T_w + T_f}{2}$			
Współczynnik rozszerzalności objętościowej	$\beta = 1/T_o$			
Liczba Prandtla ( $T_o$ )	$Pr$			
Współczynnik lepkości kinematycznej ( $T_o$ )	$\nu$			
Współczynnik przewodnictwa cieplnego ( $T_o$ )	$\lambda$			
Liczba Grashofa	$Gr = \frac{gd^3\beta\Delta T}{\nu^2}$			
Iloczyn $Gr$ z $Pr$	$GrPr$			
Wartość stałej $C$ (dla $Nu$ )	$C = \begin{cases} 1,180 \text{ gdy } 10^{-3} < GrPr < 5 \cdot 10^2 \\ 0,54 \text{ gdy } 5 \cdot 10^2 < GrPr < 2 \cdot 10^7 \\ 0,135 \text{ gdy } 2 \cdot 10^7 < GrPr < 10^{13} \end{cases}$			
Wartość stałej $n$ (dla $Nu$ )	$n = \begin{cases} 1/8 \text{ gdy } 10^{-3} < GrPr < 5 \cdot 10^2 \\ 1/4 \text{ gdy } 5 \cdot 10^2 < GrPr < 2 \cdot 10^7 \\ 1/3 \text{ gdy } 2 \cdot 10^7 < GrPr < 10^{13} \end{cases}$			
Liczba Nusselta	$Nu = C(GrPr)^n$			
Współczynnik konwekcyjnego przejmowania ciepła	$\alpha_k = \frac{\lambda Nu}{d}$			
Konwekcyjny strumień ciepła	$Q_k = \alpha_k A \Delta T$			
		Kula jasna	Kula ciemna	
Radiacyjny strumień ciepła	$Q_r = AC_0 \varepsilon \left( \left( \frac{T_w}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_f}{100} \right)^4 \right)$			
Całkowity strumień ciepła	$Q_c = Q_k + Q_r$			
Udziału radiacji w całkowitym strumieniu ciepła	$R = 100\% \cdot Q_r/Q_c$			

5. Osobno dla kuli jasnej i ciemnej, wykonaj obliczenia i wykres  $R$  dla 10 wybranych temperatur (obliczenia wykonaj tak jak w pkt. 4) (dołącz na dodatkowej kartce).

6. Sformułuj wnioski (dołącz na dodatkowej kartce)