ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975
Seria: Energetyka z. 53 Nr kol. 420

Stefan Postrzednik
Instytut Techniki Cieplnej

ANALIZA RÓWNAŃ OKREŚLAJACYCH PRZEPŁYW CIEPŁA PRZEZ PROMIENIOWANIE W DWUPOWIERZCHNIOWYM UKŁADZIE OTWARTYM

Streszczenie: W pracy przeanalizowano różne równania podawane w literaturze dotyczące przepływu ciepła przez promieniowanie w dwupowierzchniowym układzie otwartym.

Ważniejsze oznaczenia

Litery

A - absorpcyjność powierzchni,
C_o - stała promieniowania ciała doskonale czarnego,
$\dot{E}$ - emisja własna powierzchni,
F - wielkość powierzchni,
$\dot{H}$ - jasność powierzchni,
R - refleksyjność powierzchni,
$\dot{Q}$ - strumień ciepła (energii promienistej),
T - bezwzględna temperatura powierzchni (ośrodka),
ε - emisyjność powierzchni,
$\dot{S}$ - simpleks temperaturowy,
φ - stosunek konfiguracji.

Indeksy dotyczą:

$)_o$ - ośrodka otaczającego,
$)_1$ - powierzchni pierwszej,
$)_2$ - powierzchni drugiej.

1. Uwagi wstępne

W zagadnieniach technicznych często chodzi o obliczenie strumienia energii przekazywanej drogą promieniowania pomiędzy powierzchniami, tworzącymi układ nie zamykający przestrzeni. Układ powierzchni zamykających pewną przestrzeń może być traktowany czasami jako przypadek szczególny układu otwartego.

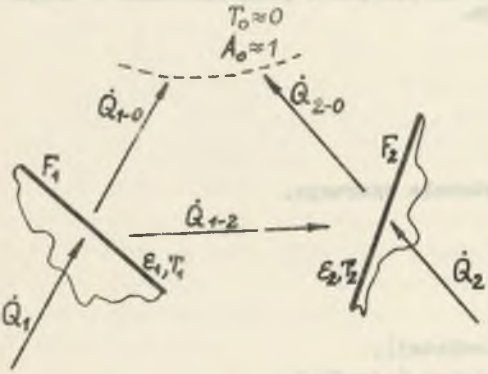
Najprostszym układem tego typu jest układ składający się z dwóch powierzchni. Interesującą wtedy wielkością będzie strumień energii promienistej $\dot{Q}_{1-2}$ przepływającej z powierzchni F_1 do powierzchni F_2 (tworzących układ dwupowierzchniowy otwarty*) (rys. 1).

---

*) Powierzchnie F_1 i F_2 nie mogą być wklęsłe. W przeciwnym razie należy powierzchnię wklęsłą zastąpić obwiedniową powierzchnią płaską, o emisyjności zastępczej ε'_j określonej wzorem Surinow'a $\varepsilon'_i = \varepsilon_i/(1-R_i\varphi_{i-i})$.

Równania służące do obliczania wielkości $\dot{Q}_{1-2}$ są podawane w literaturze np. [1], [2], [3]. Problem polega na tym, że prezentowane w literaturze równania do obliczania tej samej wielkości $\dot{Q}_{1-2}$ są różne, dają więc w konkretnych obliczeniach różne wyniki.

W pracy niniejszej chodzi o przeanalizowanie sposobu wyprowadzania tych równań oraz o wskazanie równania właściwego.



Rys. 1. Model dwupowierzchniowego układu otwartego

2. Ogólny model układu

Zakłada się, że dwie niewklęsłe powierzchnie F_1 i F_2, tworzące w przestrzeni układ otwarty, są izotermiczne. Znany jest ich średni stosunek konfiguracji φ_{1-2}, zaś ich temperatury wynoszą odpowiednio T_1 i T_2. Powierzchnie te są szare, ich emisyjności wynoszą odpowiednio ε_1 i ε_2, ich promieniowanie podlega ściśle prawu Lamberta.

Wokół znajduje się ośrodek bardzo słabo emitujący promieniowanie własne ($T_0 \approx 0^oK$) i jednocześnie bardzo dobrze pochłaniający energię promienistą dochodzącą do niego ($A_0 \approx 1$).

Interesuje nas strumień energii promienistej $\dot{Q}_{1-2}$ przepływającej z powierzchni F_1 do powierzchni F_2 (rys. 1).

Strumienie energii $\dot{Q}_{1-0}$ i $\dot{Q}_{2-0}$ wychodzą odpowiednio z powierzchni F_1 oraz F_2 do otoczenia i tam są całkowicie absorbowane.

Celem określenia wielkości Q_{1-2} wykonane zostaną bilanse energii poszczególnych powierzchni:

dla powierzchni F_1

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_{1-2} + \dot{Q}_{1-0} \tag{1}$$

dla powierzchni F_2

$$\dot{Q}_2 = - \dot{Q}_{1-2} + \dot{Q}_{2-0} \tag{2}$$

W powyższych równaniach wielkości $\dot{Q}_1$ i $\dot{Q}_2$ oznaczają strumienie ciepła, jakie muszą być doprowadzane odpowiednio do powierzchni F_1 i F_2, celem utrzymania stałych temperatur T_1 i T_2 tych powierzchni. Odejmując stronami równania (1) i (2) otrzymamy zależność w formie

$$\dot{Q}_{1-2} = \frac{1}{2} \left[(\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2) - (\dot{Q}_{1-0} - \dot{Q}_{2-0}) \right] \tag{3}$$

Otrzymane równanie (3) jest ogólną zależnością służącą do określenia wartości strumienia $\dot{Q}_{1-2}$.

Wartości strumieni ciepła $\dot{Q}_1$ i $\dot{Q}_2$ zależą od jasności $\dot{H}_1$, $\dot{H}_2$ powierzchni i mogą być określone z równania Eckerta

$$\dot{Q}_1 = \dot{H}_1 - \dot{H}_2 \quad \varphi_{2-1} \tag{4}$$

$$\dot{Q}_2 = \dot{H}_2 - \dot{H}_1 \quad \varphi_{1-2} \tag{5}$$

gdzie:

$\dot{H}_1$, $\dot{H}_2$ - oznaczają jasności powierzchni 1 i 2,

φ_{1-2}, φ_{2-1} - odpowiednie stosunki konfiguracji.

Dodatkowymi zależnościami, które należy tutaj wykorzystać, są:

Zasada wzajemności

$$\varphi_{1-2} \quad F_1 = \varphi_{2-1} \quad F_2 \tag{6}$$

Zasada zamkniętości

$$\varphi_{1-2} + \varphi_{1-0} = 1 \tag{7}$$

$$\varphi_{2-1} + \varphi_{2-0} = 1 \tag{8}$$

Wartości strumieni energii promienistej $\dot{Q}_{1-0}$ oraz $\dot{Q}_{2-0}$ określić będzie można po wyznaczeniu jasności powierzchni.

3. Jasności powierzchni układu

Jasności analizowanych powierzchni można wyznaczyć w oparciu o bilans jasności:

dla powierzchni F_1

$$\dot{H}_1 = \dot{E}_1 + R_1 \dot{H}_2 \quad \varphi_{2-1} \tag{9}$$

dla powierzchni F_2

$$\dot{H}_2 = \dot{E}_2 + R_2 \dot{H}_1 \quad \varphi_{1-2} \tag{10}$$

gdzie:

$\dot{E}_i$ - oznacza emisję własną powierzchni F_i,

$R_i = 1 - \acute{c}_i$ - refleksyjność tejże powierzchni, i = 1,2.

Rozwiązując układ równań (9), (10) względem wielkości $\dot{H}_1$ i $\dot{H}_2$ otrzymuje się

$$\dot{H}_1 = \frac{\dot{E}_1 + R_1 \varphi_{2-1} \dot{E}_2}{1 - R_1 R_2 \varphi_{2-1} \varphi_{1-2}} \tag{11}$$

$$\dot{H}_2 = \frac{\dot{E}_2 + R_2\,\varphi_{1-2}\,\dot{E}_1}{1 - R_1\,R_2\,\varphi_{2-1}\,\varphi_{1-2}} \tag{12}$$

Wprowadzając emisję z jednostki powierzchni F_i

$$\dot{e}_i = \dot{E}_i/F_i, \quad i = 1,2 \tag{13}$$

Z równań (11), (10), (6) otrzymamy

$$\dot{h}_1 \overset{df}{=} \frac{\dot{H}_1}{F_1} = \frac{\dot{e}_1 + R_1\,\varphi_{1-2}\,\dot{e}_2}{1 - R_1\,R_2\,\varphi_{1-2}\,\varphi_{2-1}} \tag{14}$$

$$\dot{h}_2 \overset{df}{=} \frac{\dot{H}_2}{F_2} = \frac{\dot{e}_2 + R_2\,\varphi_{2-1}\,\dot{e}_1}{1 - R_1\,R_2\,\varphi_{2-1}\,\varphi_{1-2}} \tag{15}$$

Każdą z jasności $\dot{H}_1$ i $\dot{H}_2$ można przedstawić jako sumę dwóch jasności składowych

$$\dot{H}_1 = \dot{H}_{1,1} + \dot{H}_{1,2} \tag{16}$$

oraz

$$\dot{H}_2 = \dot{H}_{2,2} + \dot{H}_{2,1} \tag{17}$$

przy czym

$\dot{H}_{i,j}$ - oznacza jasność powierzchni "i", gdy "niewygaszona" będzie powierzchnia "j", a "wygaszona" będzie powierzchnia "i",

i,j - 1,2,

$H_{i,i}$ - jasność powierzchni "i" pochodząca z jej emisji,

czyli

$$\dot{H}_{i,j} = \dot{H}_1 \Big|_{\text{dla } \dot{E}_i = 0}, \quad \dot{H}_i = \sum_j \dot{H}_{i,j} \tag{18}$$

Przez "wygaszenie" powierzchni F_i rozumiemy chwilowe założenie temperatury tej powierzchni równej zeru ($T_i = 0^oK$). Korzystając z definicji (18) oraz równań (9) i (10) otrzymamy zależności

$$\dot{H}_{1,2} = \dot{H}_{2,2}\;R_1\,\varphi_{2-1} \tag{19}$$

$$\dot{H}_{2,1} = \dot{H}_{1,1}\;R_2\,\varphi_{1-2} \tag{20}$$

które podstawione do równań (16) i (17) sprowadzają je do postaci

$$\dot{H}_1 = \dot{H}_{1,1} + \dot{H}_{2,2} \; R_1 \; \varphi_{2-1} \tag{16a}$$

$$\dot{H}_2 = \dot{H}_{2,2} + \dot{H}_{1,1} \; R_2 \; \varphi_{1-2} \tag{17a}$$

Rozwiązując ostatni układ równań względem $\dot{H}_{1,1}$ i $\dot{H}_{2,2}$ otrzymamy

$$\dot{H}_{1,1} = \frac{\dot{H}_1 - \dot{H}_2 \; R_1 \; \varphi_{2-1}}{1 - R_1 \; R_2 \; \varphi_{1-2} \; \varphi_{2-1}} \tag{21}$$

$$\dot{H}_{2,2} = \frac{\dot{H}_2 - \dot{H}_1 \; R_2 \; \varphi_{1-2}}{1 - R_1 \; R_2 \; \varphi_{1-2} \; \varphi_{2-1}} \tag{22}$$

Znając jasności składowe poszczególnych powierzchni łatwiej można obliczyć strumienie energii odpływające z powierzchni do otoczenia.

4. Strumienie energii promienistej uchodzącej z powierzchni do otoczenia

Każda powierzchnia oddaje energię promienistą do otoczenia bezpośrednio oraz pośrednio dzięki refleksyjności powierzchni drugiej. Te strumienie energii można wyznaczyć metodą "wygaszania" powierzchni.
Wobec powyższego otrzymamy

$$\dot{Q}_{1-0} = \dot{H}_{1,1} \; \varphi_{1-0} + \dot{H}_{2,1} \; \varphi_{2-0} \tag{23}$$

$$\dot{Q}_{2-0} = \dot{H}_{2,2} \; \varphi_{2-0} + \dot{H}_{1,2} \; \varphi_{1-0} \tag{24}$$

Uwzględniając w równaniach (23) i (24) zależności (19), (20) i (7), (8) otrzymamy

$$\dot{Q}_{1-0} = \dot{H}_{1,1} \left[1 - \varphi_{1-2} + \varphi_{1-2}(1 - \varphi_{2-1}) \; R_2\right] \tag{23a}$$

$$\dot{Q}_{2-0} = \dot{H}_{2,2} \left[1 - \varphi_{2-1} + \varphi_{2-1}(1 - \varphi_{1-2} \; R_1\right] \tag{24a}$$

Gdyby patrzeć na układ promieniujący od strony ośrodka pochłaniającego (otoczenia), wówczas strumienie energii do otoczenia można by nieco inaczej określać (co nie jest zbyt ścisłe)

$$\dot{Q}^{*}_{1-0} = \dot{H}_1 \; \varphi_{1-0} = \dot{H}_1(1 - \varphi_{1-2}) \tag{25}$$

$$\dot{Q}^{*}_{2-0} = \dot{H}_2 \; \varphi_{2-0} = \dot{H}_2(1 - \varphi_{2-1}) \tag{26}$$

Tak określone strumienie można by nazwać sumarycznymi strumieniami energii promienistej uchodzącej z poszczególnych powierzchni do otoczenia.

Dla tych dwóch przypadków zachodzi jednak relacja

$$\dot{Q}_{1-0} + \dot{Q}_{2-0} = \dot{Q}^{x}_{1-0} + \dot{Q}^{x}_{2-0} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 \tag{27}$$

podczas gdy

$$\dot{Q}_{1-0} - \dot{Q}_{2-0} \neq \dot{Q}^{x}_{1-0} - \dot{Q}^{x}_{2-0} \tag{28}$$

a w związku z tym różne uzyska się wyniki przy obliczaniu wielkości $\dot{Q}_{1-2}$.

5. Strumień energii promienistej przekazywany między powierzchniami

5.1. Rzeczywisty strumień energii przekazywanej

Podstawiając równania (23a), (24a), (11), (12), (4), (5) odpowiednio w równaniu (3) otrzymamy po uporządkowaniu

$$\dot{Q}_{1-2} = \dot{H}_{1,1}\, \varphi_{1-2}(1 - R_2) - \dot{H}_{2,2}\, \varphi_{2-1}(1 - R_1) \tag{29}$$

Po uwzględnieniu zależności (21), (22) w powyższym równaniu uzyskamy

$$\dot{Q}_{1-2} = \dot{H}_1\, \varphi_{1-2}\, D_{1-2} - \dot{H}_2\, \varphi_{2-1}\, D_{2-1} \tag{30}$$

gdzie:

$$D_{i-j} = \frac{1 - R_j + (1 - R_i)\, R_j\, \varphi_{j-i}}{1 - R_i\, R_j\, \varphi_{i-j}\, \varphi_{j-i}}, \quad i,j=1,2 \tag{31}$$

Ponieważ emisję własną ciał szarych określa równanie Stefana-Boltzmanna

$$\dot{E}_i = F_i\, \varepsilon_i\, C_c \left(\frac{T_i}{100}\right)^4 \tag{32}$$

wówczas wielkość $\dot{Q}_{1-2}$, za pomocą równań (11), (12), (6) zapisać można w formie

$$\dot{Q}_{1-2} = F_1\, \varepsilon_{1-2}\, C_c \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right] \tag{33}$$

gdzie:

$C_c = 5{,}67\ \frac{W}{m^2 K^4}$ – stała promieniowania

$\varepsilon_{1-2} = \dfrac{\varepsilon_1\, \varepsilon_2\, \varphi_{1-2}}{1 - R_1\, R_2\, \varphi_{1-2}\, \varphi_{2-1}}$ – oznacza stosunek wymiany energii promienistej

lub po rozpisaniu

$$\frac{1}{\varepsilon_{1-2}} = \frac{1}{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varphi_{1-2}} + \varphi_{1-2} \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 - \frac{1}{\varepsilon_1 \varepsilon_2}\right) \tag{34}$$

Wzory obliczeniowe (33) i (34) zostały wyprowadzone przez W. Około-Kułaka i podane są w literaturze [2].

Dla równych temperatur powierzchni $T_1 = T_2$ strumień energii $\dot{Q}_{1-2}$ jest równy zeru.

5.2. Pozorny strumień energii przekazywanej

Jeżeli z kolei podstawić równania (25),(26), (4), (5) do (3) otrzymuje się zależność

$$\dot{Q}^x_{1-2} = \dot{H}_1 \varphi_{1-2} - \dot{H}_2 \varphi_{2-1} \tag{35}$$

Powyższe równanie również jest podawane w literaturze [1], [3].

Porównując wzory (35) i (30) widać wyraźnie, że zazwyczaj będzie zachodziła relacja

$$\dot{Q}_{1-2} \neq \dot{Q}^x_{1-2}$$

jedynie, gdy $D_{1-2} = D_{2-1} = 1$, to otrzymamy, że $\dot{Q}_{1-2} = \dot{Q}^x_{1-2}$. Będzie to miało zawsze miejsce, gdy $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1$, zaś poza tym tylko przypadkowo.

Gdyby zapisać równanie (35) w formie równania (33), tzn.

$$\dot{Q}^x_{1-2} = F_1 \varepsilon^x_{1-2} C_c \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right] \tag{35a}$$

wówczas

$$\varepsilon^x_{1-2} = \varepsilon_{1-2} \frac{\frac{1 - R_2 \varphi_{2-1}}{\varepsilon_2} \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4 - \frac{1 - R_1 \varphi_{1-2}}{\varepsilon_1}}{\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4 - 1} \tag{36}$$

Stosunek wymiany energii promienistej ε_{1-2} nie zależy od temperatury powierzchni, podczas gdy ε^x_{1-2}, jak widać z (36), jest dodatkowo funkcją stosunku temperatur (T_1/T_2). Dla $D_{1-2} = D_{2-1} = 1$ otrzymamy $\varepsilon_{1-2} = \varepsilon^x_{1-2}$, zaś poza tym zazwyczaj $\varepsilon_{1-2} \neq \varepsilon^x_{1-2}$.

Interesującą sprawą jest fakt, że dla równych temperatur powierzchni $T_1 = T_2$ wartość strumienia $\dot{Q}^x_{1-2}$ jest różna od zera $(\dot{Q}^x_{1-2} \neq 0)$.

Wprowadzając oznaczenie $\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4 = \xi$ można równanie (35a) zapisać w formie

$$\dot{Q}^{x}_{1-2} = F_1 \quad \varepsilon_{1-2} \; C_c \; (\frac{T_2}{100})^4 \left[\frac{1 - R_2 \; \varphi_{2-1}}{\varepsilon_2} \; \xi \; - \frac{1 - R_1 \; \varphi_{1-2}}{\varepsilon_1} \right] \tag{35b}$$

Z równania powyższego wyznaczona zostanie krytyczna wartość ξ_k liczby ξ z warunku

$$\xi = \xi_k \quad \text{dla} \quad \dot{Q}^{x}_{1-2} = 0 \tag{37}$$

Otrzymamy wtedy

$$\xi_k = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \; \frac{1 - R_1 \; \varphi_{1-2}}{1 - R_2 \; \varphi_{1-2} \; \frac{F_1}{F_2}} \tag{38}$$

zaś krytyczny stosunek temperatur $(\frac{T_1}{T_2})_k$ wyniesie

$$(\frac{T_1}{T_2})_k = \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \; \frac{1 - R_1 \; \varphi_{1-2}}{1 - R_2 \; \varphi_{1-2} \; \frac{F_1}{F_2}}} \tag{39}$$

Wielkości ξ_k oraz $(T_1/T_2)_k$ zależą od emisyjności powierzchni i konfiguracji układu w przestrzeni.

Przypadki szczególne:

α) dla $\varphi_{1-2} = \varphi_{2-1} = 1$, $\xi_k = 1$, $(T_1/T_2)_k = 1$,

β) dla $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1$, $\xi_k = 1$, $(T_1/T_2)_k = 1$,

γ) dla układów symetrycznych: $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \wedge \varphi_{1-2} = \varphi_{2-1}$

$\xi_k = 1$; $(T_1/T_2)_k = 1$,

δ) dla $\varphi_{1-2} \ll 1 \wedge \varphi_{2-1} \ll 1$; $\xi_k = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$, $(T_1/T_2)_k = \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}$,

ε) dla $\varepsilon_1 = 1{,}0 \wedge \varepsilon_2 \leqslant 1$: $\xi_k = \frac{\varepsilon_2}{1 - R_2 \; \varphi_{2-1}}$, $(T_1/T_2)_k =$

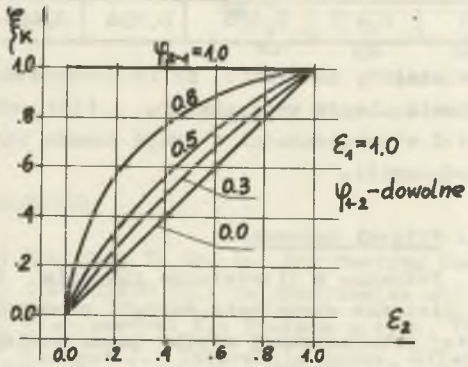
$$= \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_2}{1 - R_2 \; \varphi_{2-1}}},$$

ζ) dla $\varepsilon_1 \leqslant 1 \wedge \varepsilon_2 = 1$: $\xi_k = \dfrac{1 - R_1\ \varphi_{1-2}}{\varepsilon_1}$, $(T_1/T_k)_k =$

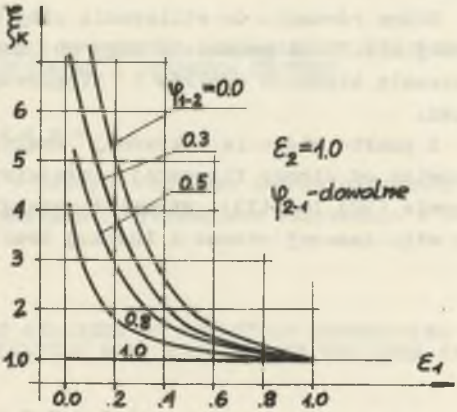
$$= \sqrt[4]{\frac{1 - R_1\ \varphi_{1-2}}{\varepsilon_1}}\ .$$

Ogólnie więc biorąc dla $\xi \geqslant \xi_k$, tzn. $(T_1/T_2) \geqslant (T_1/T_2)_k$ otrzymamy $\dot{Q}^x_{1-2} \geqslant 0$ i odwrotnie.

Niektóre wartości liczb ξ_k zobrazowane zostały na rys. 2 i 3.



Rys. 2. Liczba ξ_k układu dla $\varepsilon_1 = 1{,}0$



Rys. 3. Liczba ξ_k układu dla $\varepsilon_2 = 1{,}0$

Różnice między wielkościami strumieni ciepła $\dot{Q}_{1-2}$ i $\dot{Q}^x_{1-2}$ mogą być znaczne. Stosunek ω tych strumieni na podstawie równań (36) i (38) wynosi

$$\omega = \frac{\varepsilon_1}{1 - R_1\ \varphi_{1-2}}\ \frac{\xi_k(\xi - 1)}{\xi - \xi_k} \tag{40}$$

gdzie:

$$\omega \stackrel{df}{=} \frac{\dot{Q}_{1-2}}{\dot{Q}^x_{1-2}} \tag{41}$$

Graniczne wartości stosunku ω wynoszą

$$\omega_1 = \begin{cases} \omega_{1,0} = 0, & \text{dla } \xi_k \neq 1 \\ \omega_{1,1} = \dfrac{\varepsilon_1}{1 - R_1\ \varphi_{1-2}}, & \text{dla } \xi_k = 1 \end{cases} \tag{42}$$

$$\omega_\infty = \frac{\varepsilon_1}{1 - R_1\ \varphi_{1-2}}\ \xi_k, \quad \text{dla } \xi_k < \infty \tag{43}$$

gdzie:

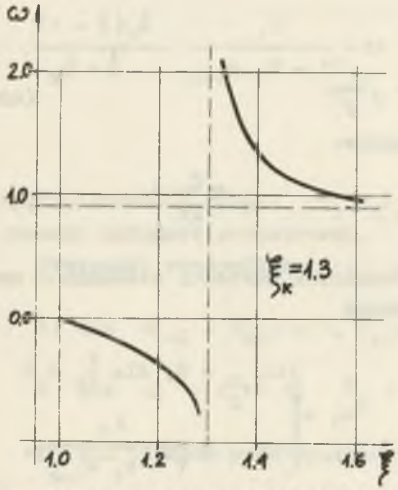
$$\omega_1 = \lim_{\xi \to 1} \omega, \quad \omega_\infty = \lim_{\xi \to \infty} \omega$$

Uwzględniając w równaniu (43) zależność (38) otrzymuje się

$$\omega_\infty = \frac{\varepsilon_2}{1 - R_2\,\varphi_{2-1}} = \xi_k \Big|_{\text{dla } \varepsilon_1 = 1 \text{ -rys. 2.}} \tag{43a}$$

W powyższej tablicy oraz na rys. 4 i 5 podane zostały przykładowe wartości analizowanych wielkości.

ε_1	ε_2	φ_{1-2}	φ_{2-1}	ξ_k	$(T_1/T_2)_k$	$\omega_{1,1}$	ω_∞
0,5	0,8	0,6	0,7	1,3	1,067	0,714	0,927
0,9	0,2	0,6	0,7	0,475	0,826	0,956	0,455



Rys. 4. Stosunek strumieni ciepła

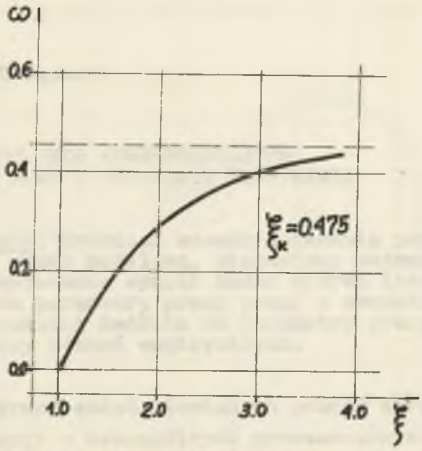
Należałoby nadmienić, że obliczenie strumienia ciepła według wzoru (35), nie stoi w sprzeczności z drugą zasadą termodynamiki.

6. Wnioski końcowe

Podawane w literaturze równania do obliczania strumienia energii promienistej przekazywanej między dwoma powierzchniami w układzie otwartym są różne - równania (30) i (35), w związku z czym otrzyma się również w zależności od zastosowanego równania różne wyniki obliczeń.

Różne równania do obliczania niby tej samej wielkości prowadzić mogą do uzyskiwania błędnych wyników i nieporozumień.

Z punktu widzenia dokładnej analizy zjawisk od strony fizycznej, właściwym wydaje się być równanie zapisane w formie (30) lub (33). Strumień energii obliczony według równania (35) należy więc inaczej nazwać i inaczej traktować.



Rys. 5. Stosunek strumieni ciepła

LITERATURA

[1] HSU Shao Ti Sc. D.: Engineering Heat Transfer, N.C., New York 1963.
[2] OCHEDUSZKO St.: Terdmodynamika stosowana, WNT Warszawa 1970.
[3] Staniszewski B.: Wymiana ciepła, PWN Warszawa 1963.
[4] Szargut J.: Informacja ustna, Gliwice 1973.

Praca wpłynęła do Redakcji w styczniu 1974 roku.

АНАЛИЗ УРАВНЕНИЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ТЕПЛООБМЕН ИЗЛУЧЕНИЕМ В ОТКРЫТОЙ СИСТЕМЕ

Р е з ю м е

В работе сделано анализ различных уравнений по данных в литературе, а определяющих теплообмен излучением в двухповерхностной открытой системе.

THE ANALYSIS OF EQUATIONS DETERMINING THE RADIATION HEAT TRANSFER IN THE OPEN SYSTEM

S u m m a r y

Various equations, given in the literature, and determining the radiation heat transfer between two surfaces in the open system have been analysed in this paper.