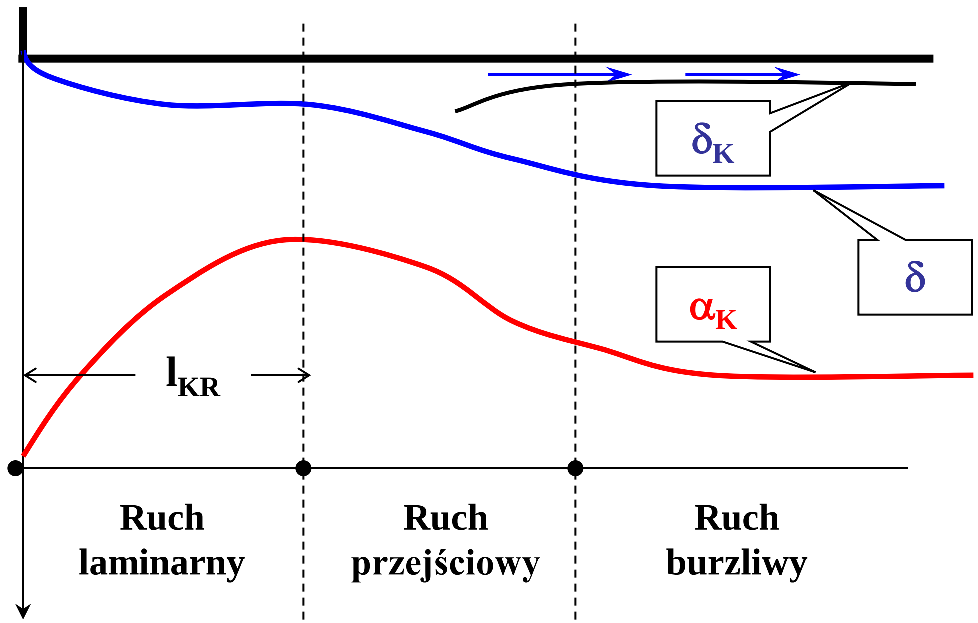
Konwekcja wymuszona

Wymuszenie związane może być np. z działaniem wentylatora, wiatru, itp. W tym przypadku występuje podobieństwo charakteru zmian współczynnika α_K i przebiegu warstw powietrza, do powyżej omówionego przypadku konwekcji swobodnej wzdłuż pionowej przegrody. Konwekcja wymuszona jest z reguły poziomym ruchem powietrza wzdłuż długości przegrody (patrz rysunek)



Ruch laminarny jest określony warunkiem: Re = 4,8 × 10^5 ⇒ (wl)/ν = 4,8 × 10^5, co oznacza że zasięg ruchu laminarnego jest tu znacznie większy niż przy konwekcji swobodnej

Przykład: t_e = -10^0C; w = 3,4 m/s: ν = 12,43 × 10^{-6}; ⇒ a więc: l_{KR} = Re × ν/w = 1,75 m.

Z tego też powodu dla konwekcji wymuszonej wprowadzane 2 wartości współczynnika konwekcji, osobno dla obszaru ruchu laminarnego i dla obszaru ruchu burzliwego

W obszarze ruchu laminarnego wartość tego współczynnika obliczana jest z równania kryterialnego, dla określonych odległości "x" od brzegu rozpatrywanego obszaru (przegrody):

$$Nu_x = 0{,}197(Re)_x^{0,5} \Longrightarrow \frac{\alpha_{Kx}\,x}{\lambda} = 0{,}197\left(\frac{wx}{\upsilon}\right)^{0,5}$$

zależność ta jest słuszna dla powietrza przy temperaturze $t_e = -10^0C$ (Pr = o,709)

W obszarze ruchu burzliwego wartość tego współczynnika oblicza się z równania kryterialnego:

$$Nu = 0{,}032 \times Re^{0,8} \Longrightarrow \alpha_K = 6{,}42\,\frac{w^{0,8}}{l^{0,2}}$$

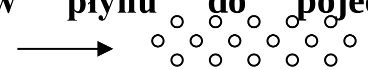
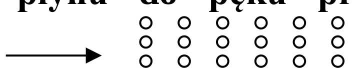
słuszne przy $\frac{6{,}2}{w} \langle l \langle \frac{124{,}3}{w}$

W praktyce zjawisk z zakresu fizyki budowli mamy często do czynienia ze skomplikowanym charakterem wymuszeń, np. napór wiatru na przegrody zachodzi pod różnymi kątami, co powoduje istotne zaburzenia w ruchu powietrza, a tym samym - także wartości współczynnika konwekcji. Z tego tez względu przyjmuje się z reguły wartości większe (a także, częstą praktyką jest przyjmowanie równości temperatur powierzchniowych przegród i powietrza)

W obszarze ruchu burzliwego i konwekcji wymuszonej, wartość współczynnika konwekcji minimalnie zależy od wymiaru liniowego (l), ale występuje proporcjonalna i silna zależność ze zmianą prędkości powietrza (płynu)

Uwaga: **Zasady konwekcji wymuszonej stosowane są również do opisu zjawisk cieplnych zachodzących w trakcie ruchu płynów wokół przewodów (np. w wymiennikach) - w poniższej tabeli zamieszczono zestawienie wielkości stałych "C" i wykładników potęgowych "A" i "B" w opisującej wymianę powietrza zależności kryterialnej:**

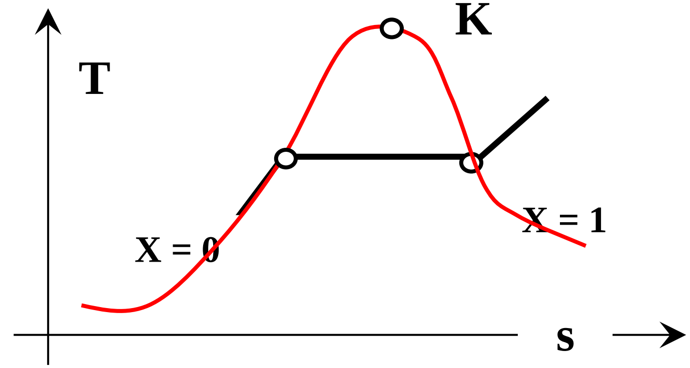
$$\mathbf{Nu} = \mathbf{C} \times (\mathbf{Re})^{\mathbf{A}} \times (\mathbf{Pr})^{\mathbf{B}}$$

Opis konwekcji	Stałe w zależności kryterialnej			Uwagi
	C	A	B	
Przepływ płynu o małej lepkości ($\eta < 2\eta_{H2O}$) wewnątrz przewodu	0,023 0,023	0,8 0,8	0,4 0,33	Re > 2100 Re > 10000
Prostopadły przepływ płynu do pojedynczego przewodu 	0,26	0,6	0,30	Re > 10000, przy [t_f =0,5(T + t)]
Prostopadły przepływ płynu do pęku przewodów naprzemianległych 	0,33	0,6	0,33	Re > 2000
Prostopadły przepływ płynu do pęku przewodów ustawionych szeregowo	0,26	0,6	0,33	Re > 2000

Wybrane przypadki konwekcji

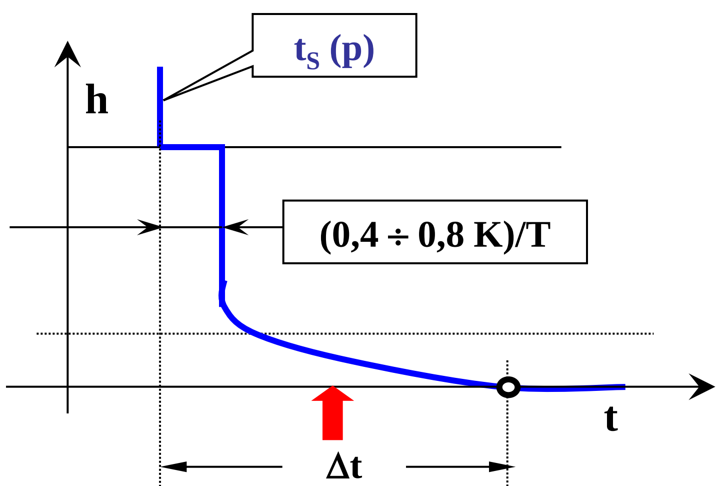
1. Konwekcja przy zmianie stanu skupienia (np. wrzenie i kondensacja).

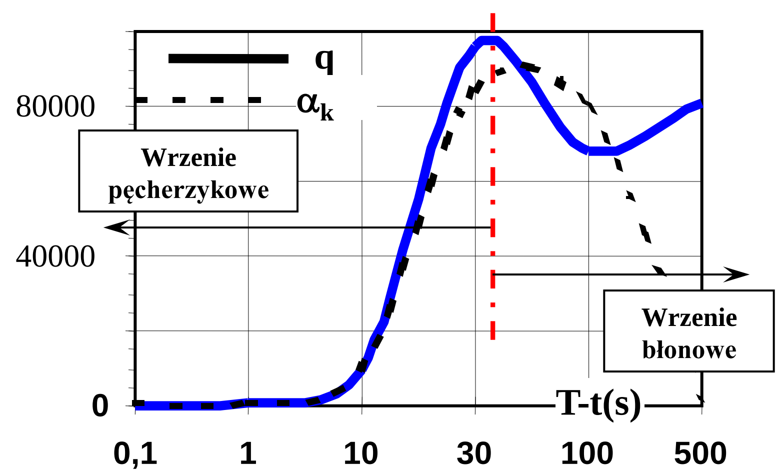
Mamy tu do czynienia z największymi wartościami współczynników konwekcji, ponieważ $\alpha_K >> 10000$



2. Wrzenie cieczy.

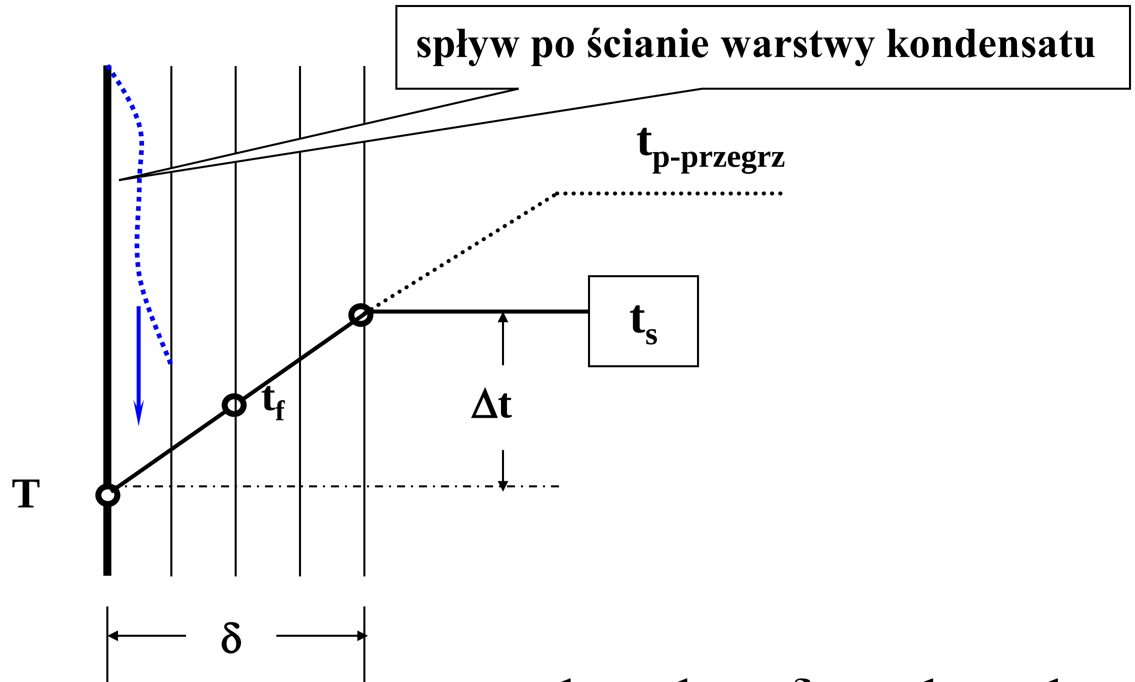
Temperatura na dnie naczynia jest znacznie wyższa od temperatury wrzenia. Różnica temperatur wynika z napięcia powierzchniowego cieczy. Pęcherzyki pary unoszą ciepło pobrane od cieczy, zatem $\alpha = q/\Delta t$, a więc współczynnik α_k rośnie ze wzrostem q, ale do pewnego momentu (gdy powierzchnia dna pokryta jest parą, a $\lambda_{pary} > \lambda_{cieczy}$) $\Rightarrow$ dla $H_2O \rightarrow q_{KR} = 10^6$ W/m^2 ; Δt_{KR} =23 ÷27K i $\alpha \cong 40000$ (uwaga: przy wrzeniu błonowym $\Rightarrow$ występuje dużo pęcherzyków i spadek α)





3. Kondensacja par ze swobodnym spływem skroplin

W takich przypadkach mamy do czynienia ze skraplaniem błonowym lub kroplowym (perlistym - dla cieczy niezwilżających)



$$Q = A\alpha(t_s - T) \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\alpha_P} + \frac{\delta}{\lambda'} = \frac{1}{\alpha_P} + \frac{1}{\alpha_f}$$

$1/\alpha_p$ - nie można pominąć gdy mamy do czynienia z gazem interentnym (np. powietrze + para); $1/\alpha_f$ - opór błony (filmu) o grubości δ.

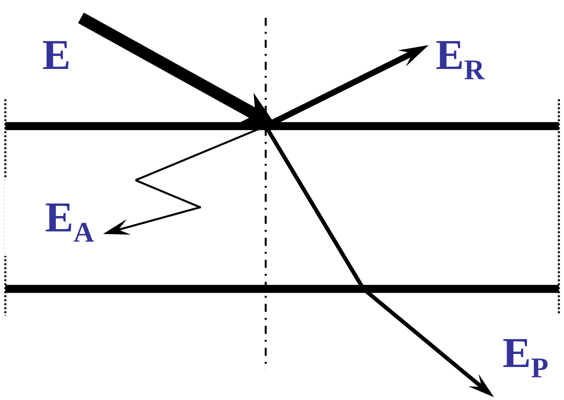
Grubość warstwy kondensatu narasta i współczynnik wnikania ciepła (konwekcji) będzie większy w górnej części przegrody niż w dolnej

Wymiana ciepła przez promieniowanie

Należy do najbardziej intensywnego rodzaju wymiany ciepła i jest przekazywaniem ciepła (emisji) za pomocą fal elektromagnetycznych.

W praktyce, emisja fal elektromagnetycznych dotyczy fal o długościach λ od 0 do : λ = 0,365 ÷ 0,76 μm - fale świetlne, λ = 0,76 ÷ 400 μm - fale (promieniowanie) cieplne oraz λ = 0,4 mm ⇒ - fale radiowe. Zajmujemy się przede wszystkim promieniowaniem cieplnym, zwanym również promieniowaniem temperaturowym, wynikającym z faktu że ciała maja temperaturę wyższą od 0^0K

Zgodnie z prawem Prewosta, wszystkie ciała i ciecze emitują energię, przy czym zdolność ich emisji zależy od ich własności fizycznych, temperatury i rodzaju powierzchni (np. jej "gładkości"). Każde ciało jednocześnie emitują i absorbują promieniowanie



$$\dot{E} = \dot{E}_R + \dot{E}_A + \dot{E}_P$$ przy czym w technice $\dot{E}_P \approx 0$

$$\frac{\dot{E}_R}{\dot{E}} + \frac{\dot{E}_A}{\dot{E}} \cong 0 \Rightarrow A + R \cong 1$$

Absorpcja (A) zachodzi w bardzo cienkiej warstwie ciała, której grubość ocenić można na około 6×10^{-3}. Występować tutaj mogą następujące przypadki: A = 1 - są to ciała doskonale czarne (których modelem jest kula z otworem), A_λ = idem - są to ciała doskonale szare (dla każdej długości fali absorpcyjność jest taka sama), $A_\lambda \neq$ idem - są to ciała kolorowe (każda fala jest pochłaniana inaczej, a widoczny jest ten kolor dla którego A_λ jest bardzo małe zaś R = 1 - są to ciała doskonale białe

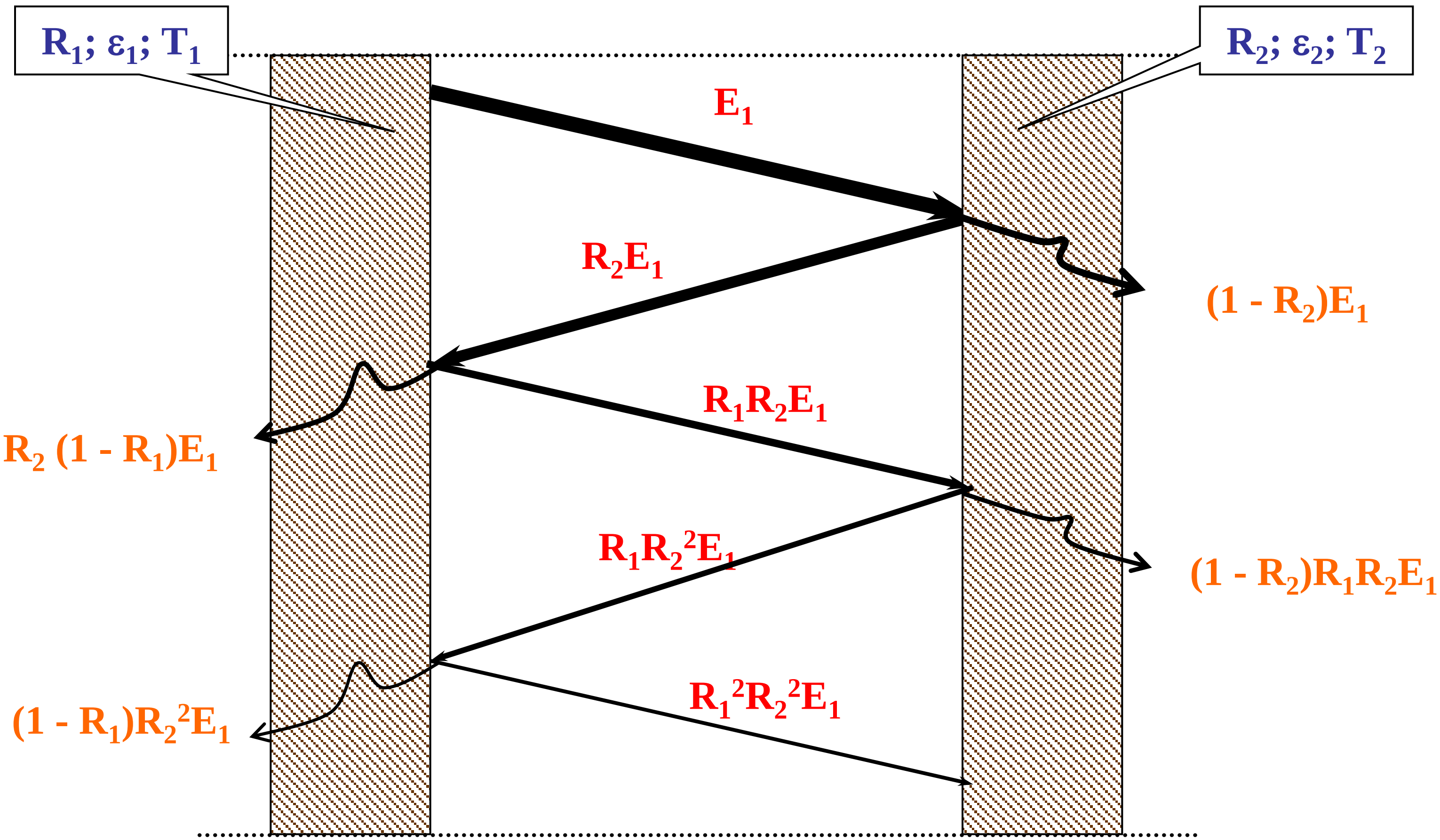
Wymiana ciepła droga promieniowania rządzą podstawowe prawa, np. Prewosta, Plancka, Wiena, Kirchoffa, Lamberta, Stefana-Boltzmana, itd. (ich znajomość jest niezbędna)

Najistotniejsze znaczenie ma opis natężenia promieniowania ciała czarnego, podawany w postaci:

$$E_0 = c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad , \mathrm{W/m^2}$$

Procesu wymiany ciepła przez promieniowanie nie da się ująć jednym ścisłym równaniem (jak to ma miejsce przy przewodzeniu czy konwekcji). Do każdego przypadku podchodzić należy indywidualnie

Najbardziej reprezentatywna dla przedmiotu jest wymiana ciepła drogą promieniowania pomiędzy dwoma równoległymi powierzchniami



Ilość energii pochłonięta przez powierzchnię "2" z emisji wysłanej przez powierzchnię "1" opisana jest zależnością:

$$Q_{r2} = (1 - R_2)E_1\left(1 + R_1R_2 + R_1{}^2R_2{}^2 + ...\right) = E_1{}^{\varepsilon_2}\frac{1}{1 - R_1R_2} \Longrightarrow Q_{r2} = \frac{\epsilon_1 E_1}{1 - R_1R_2}$$

<u>Uwaga:</u> Dla emisji z powierzchni "2" na powierzchnię "1" można wykonać analogiczny wywód, uzyskując zapis:

$$Q_{r1} = \frac{\in_2 E_2}{1 - R_1 R_2}$$

Jeżeli $T_1 > T_2$ (tzn. powierzchnia "2" pochłania więcej energii cieplnej), to

$$Q_{r2} - Q_{r1} = Q_{r1-2}$$

$$Q_{r1-2} = \frac{\in_1 E_1 - \in_2 E_2}{1 - R_1 R_2}$$

Przyjmując, że intensywność emisji wyraża równanie Stefana-Boltzmana, tzn. $E_i = A_i \in_i c_0 \left(\frac{T_i}{100}\right)^4$

oraz zakładając, że $A_1 = A_2$ (np. $A = A_1$) i $R_i = 1 - \in_i$

$$Q_{r1-2} = \frac{A_1 \in_1 \in_2 c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]}{1 - (1 - \in_1)(1 - \in_2)}$$

gdy $\frac{\in_1 \in_2}{1 - (1 - \in_1)(1 - \in_2)} = \frac{1}{\frac{1}{\in_1} + \frac{1}{\in_2} - 1} = \in_{1-2}$

$$Q_{r1-2} = \in_{1-2} c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]$$

$\in_{1-2}$ **nazywane jest stosunkiem wymiany energii promienistej (lub - *emisyjnością zastępczą*)**

Z uwagi na *kierunkowość* wymiany ciepła droga promieniowania *(prawo Lamberta)* wprowadza się do powyższej zależności tzw. *współczynniki konfiguracji* (np. $\phi_{1\text{-}2}$), określające jaka część energii wypromieniowanej z powierzchni "2" trafia na powierzchnię "1".

$$Q_{r1-2} = \in_{1-2} \Phi_{1\text{-}2} c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

Wybrane przypadki określania emisyjności zastępczej i współczynników opromieniowania

Emisyjność zastępcza

Bardzo małe powierzchnie (lub powierzchnie znacznie oddalone): (pomija się energię odbitą)

$$\in_{1-2} = \in_1 \in_2$$

Powierzchnie równoległe i mało oddalone:

$$\in_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{\in_1} + \frac{1}{\in_2} - 1}$$

Powierzchnia "A_1" objęte ze wszystkich stron powierzchnią "A_2": , czego przykładem mogą być dwa współśrodkowe cylindry (lub przy wymianie ciepła między powierzchnią jednej przegrody a powierzchniami pozostałych przegród otaczających pomieszczenie.

$$\in_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{\in_1} + \frac{A_1}{A_2}\left(\frac{1}{\in_2} - 1 \right)}$$

Przy wymianie ciepła pomiędzy przegrodami a nieboskłonem:

- **Współczynniki konfiguracji (opromieniowania - są funkcją kąta padania i odległości)**

Dwie nieograniczone płaszczyzny: $\in_{1-2} = \in_1$

Wymiana ciepła pomiędzy elementem płaszczyzny (dA_1) równoległej do płaszczyzny nieograniczonej: $\Phi_{1-2} = \Phi_{2-1} = 1$

Uwaga:* *Zawsze obowiązuje zapis $\Phi_{1-2} = 1$ $\quad \Sigma\Phi_{1-i} = 1$

Ostatecznie, wymianę ciepła droga promieniowania określa zależność

$$q_{r1-2} = \frac{Q_{r1-2}}{A_1} = \in_{1-2} \Phi_{1-2} c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

przy czym, zastępując wyrażenie

$$\in_{1-2} \Phi_{1-2} c_0 \frac{\left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{T_1 - T_2} = \alpha_r$$

ilość tego ciepła obliczyć można z zależności podobnej jak miało to miejsce w opisach wymiany ciepła droga konwekcji

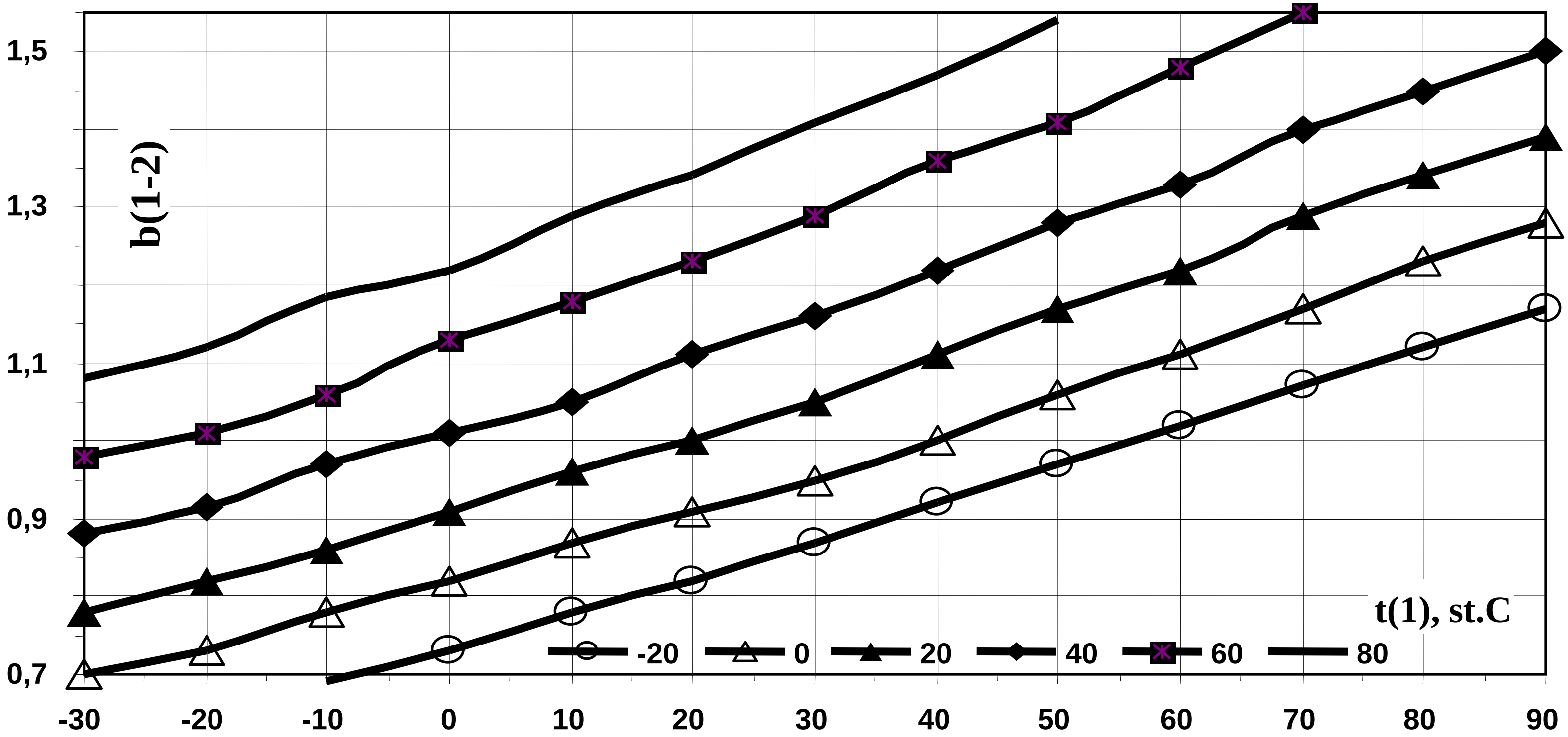
Jeżeli przyjmiemy, że ⇒

$$b_{1-2} = \frac{\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]}{T_1 - T_2} \Longrightarrow \alpha_r = \in_{1-2} \Phi_{1-2} c_0 b_{1-2}$$

$$\Sigma\Phi_{1-i} = 1$$

$$\alpha_r = \in_{1-2} c_0 b_{1-2}$$

gdzie b_{1-2} jest nazywany współczynnikiem temperaturowym.



Współczynniki temperaturowe dla warstw powietrza o danej temperaturze (t_p)

$t_p, {}^0C$	+25	+20	+15	+10	+ 5	0	- 5	- 10	- 15	- 20	- 25
Współczynnik b	1,06	1,01	0,96	0,91	0,86	0,81	0,73	0,71	0,69	0,65	0,61