

TADEUSZ BES

Katedra Teorii Maszyn Ciepłych

WPLYW WARUNKÓW ATMOSFERYCZNYCH NA TEMPERATURĘ GAZU  
W CHŁODNI KANAŁOWEJ  
USTAWIONEJ NA WOLNYM POWIETRZU

**Streszczenie.** Wpływ warunków atmosferycznych na rozkład temperatur w kanałowej chłodni gazu ustawionej na wolnym powietrzu zależy od tego na jakie działanie chłodnia jest wystawiona, tj. czy oprócz konwekcji naturalnej trzeba dodatkowo uwzględnić działanie słońca, deszczu czy też wiatru. W pracy rozpatrzono tylko wpływ słońca i deszczu, gdyż działanie wiatru omówione jest w literaturze [1]. Przeanalizowano przypadki, gdy kanał jest ożebrowany i gdy nie ma żeber. W zakończeniu przeliczony został problem stanowiący przykład takiego doboru parametrów kanału, dla którego można uzyskać wymagane temperatury gazu na końcu kanału zarówno w warunkach letnich: gdy temperatura otoczenia jest wysoka i gdy kanał jest nasłoneczniony jak i zimowych gdy występują opady śniegu przy silnym wietrze. W rozważaniach brano pod uwagę różną długość obwodu kanału przy zadanym jego przekroju poprzecznym, rozmiaty rozstaw żeber, a także możliwość zastosowania kilku nieożebrowanych przewodów zamiast jednego ożebrowanego.

## 1. Wstęp

Chłodzenie zapyłonego gazu może być związane z problemem odpylania gazu na filtrach tkaninowych. Zapyłony gaz ma często wysoką temperaturę i dlatego zanim doprowadzony zostanie do filtrów powinien zostać schłodzony do temperatury bezpiecznej dla filtrów. Transport gazu do filtrów odbywa się kanałem. Jeżeli kanał ten zabudowany jest na wolnym powietrzu, to w wyniku odpływu ciepła do otoczenia temperatura gazu spada, a kanał spełnia rolę chłodni.

Temperatura gazu dopływającego do filtrów musi być zawarta w dość wąskim przedziale, gdyż z jednej strony przekroczenie jej górnej granicy może zniszczyć tkaninę, z drugiej zaś przy

temperaturze niskiej istnieje niebezpieczeństwo wykroplenia się pary wodnej i zatkania filtra sklejonym pyłem.

Dla istniejących wahań temperatury gazu dopływającego do kanału oraz dla różnych warunków atmosferycznych - utrzymanie temperatury gazu w wymaganym przedziale na końcu chłodni jest trudne, tak że zazwyczaj wahania tej temperatury zawierają się w granicach dopuszczalnych - bez rezerw. Stąd zachodzi potrzeba dokładnych obliczeń rozkładu temperatury gazu wzdłuż kanału chłodni dla najniekorzystniejszych warunków atmosferycznych.

## 2. Spadek temperatury gazu wzdłuż kanału chłodni

W dalszym ciągu rozpatrzone będą wzory na spadek temperatury gazu wzdłuż kanału chłodni dla przypadków: gdy ma miejsce tylko konwekcja, gdy kanał jest nasłoneczniony oraz gdy poddany jest on działaniu opadów atmosferycznych. Wpływ wiatru uwidacznia się jedynie przez zwiększoną wartość współczynnika wnika-  
nia ciepła  $\alpha_z$  od ścian kanału do otoczenia [1]. Wzory na rozkład temperatury w kanale w przypadku występowania tylko konwekcji znane powszechnie z literatury i zostały podane jedynie dla porządku.

### 2.1. Rozkład temperatury w kanale chłodzonym w wyniku konwekcji

Na rysunku 1 pokazano fragment ożebrowanego przewodu chłodni. Bilans energii dla elementu o długości  $\Delta x$  można napisać następująco:

$$-\Delta \dot{I} = \Delta \dot{Q}_{ot} . \quad (1)$$

Po rozpisaniu członów otrzymuje się wzór

$$-W \Delta t = k (t - t_{ot}) O \Delta x . \quad (2)$$

Jeżeli w równaniu tym przyrosty zastąpione będą różniczkami, to po scałkowaniu otrzymuje się znany wzór na spadek temperatury gazu

$$t - t_{ot} = (t_p - t_{ot}) \exp \left( - \frac{k O X}{\dot{W}} \right), \quad (3)$$

gdzie:

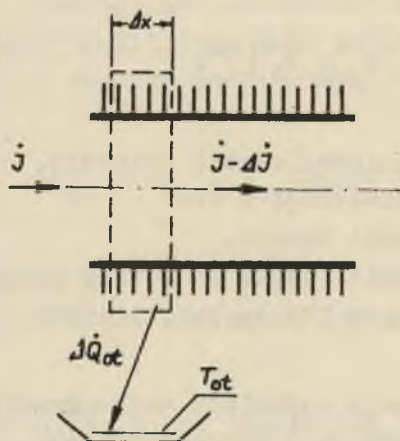
$t_{ot}$  - temperatura otaczającego powietrza,

$t_p$  - temperatura gazu na dopływie do kanału,

$k$  - współczynnik przenikania ciepła, w którym uwzględniony jest wpływ żerber,

$O$  - obwód kanału,

$\dot{W}$  - pojemność cieplna w strumieniu zapyłonego gazu.



Rys. 1. Fragment ożebrowanego przewodu chłodni

Wielkość  $\dot{W}$  wyznacza się z zależności

$$\dot{W} = \dot{W}_c \left( 1 + \mu \frac{c_{ps}}{c_p} \right), \quad (4)$$

gdzie:

$\dot{W}_c = \dot{m} c_p$  - pojemność strumienia czystego gazu,

$\mu$  - masa pyłu w kg przypadająca na 1 kg gazu czystego,

$c_{ps}/c_p$  - iloraz ciepła właściwego pyłu do ciepła właściwego gazu.

We wzorze (3) przyjęto stałą wartość współczynnika  $k$ , co jest słuszne jedynie dla nieznacznych spadków temperatur wzdłuż kanału.

## 2.2. Kanał nasłoneczniony

Ilość ciepła  $d\dot{Q}$  odpływającego od zapyłonego powietrza do wewnętrznej ściany kanału można wyznaczyć w oparciu o bilans energii dopływającej i odpływającej ze ściany zewnętrznej kanału [8]. Proste przekształcenia prowadzą do wzoru

$$d\dot{Q} = \dot{q} dA_x = \left[ k(t - t_{ot}) - a_s \dot{e}_r \frac{k}{\alpha_s} \right] dA_x, \quad (5)$$

gdzie:

- $a_s$  - zdolność absorpcji nasłonecznionej części przewodu,
- $\dot{e}_r$  - energia napromieniowania słonecznego w  $W/m^2$ ,
- $A_x$  - nasłonecznione pole powierzchni kanału,
- $\alpha_s$  - zastępczy współczynnik wnikania ciepła od ściany kanału do otaczającego powietrza, w którym uwzględniony jest wpływ żeber.

Absorpcyjność  $a_s$  zależy od rodzaju materiału nasłonecznionego, a jego wartości liczbowe zawarte są w literaturze [4]. Na jednostkową energię  $\dot{e}_r$  ma wpływ szereg czynników m.in. pora dnia i szerokość geograficzna. Jeżeli nasłoneczniona powierzchnia ustawiona jest pionowo np. żebro zamocowane na ścianie kanału, to  $\dot{e}_r$  zależy również od zwrotu powierzchni na wschód, na zachód, czy też na południe.

Tablice uwzględniające te wpływy zawarte są w literaturze [4] i można z nich korzystać pod warunkiem, że zamieszczone tam wartości skorygowane zostaną dla szerokości geograficznej odpowiadającej położeniu badanego obiektu. Jeżeli we wzorze na rozkład temperatury wzdłuż kanału zachodzi potrzeba uwzględnienia nasłonecznienia kanału, to bilans energii dla elementu o długości  $dx$  powinien zawierać oprócz członu odpowiadającego konwekcji również człon reprezentujący strumień energii sło-

necznej padającej na przewód i żebra. Wielkości te można ustalić w oparciu o wzór (5)

$$- \dot{W} dt = k(t - t_{ot}) O dx - a_s \dot{e}_r \frac{k}{\alpha_e} O_r dx, \quad (6)$$

gdzie:

$O_r$  - część obwodu kanału, na którą padają promienie słoneczne.

Rozwiązanie ostatniego równania prowadzi do wzoru na rozkład temperatury gazu wzdłuż kanału. Wzór ten słuszny jest przy warunku początkowym: dla  $x = 0$ , temperatura  $t = t_p$

$$t - t_{ot} = (t_p - t_{ot}) \exp\left(-\frac{k O x}{\dot{W}}\right) + a_s \frac{\dot{e}_r}{\alpha_e} \frac{O_r}{O} \left[1 - \exp\left(-\frac{k O x}{\dot{W}}\right)\right] \quad (7)$$

Oznaczenia wielkości są takie jak we wzorach (5) i (6).

### 2.3. Kanał pod działaniem opadów atmosferycznych

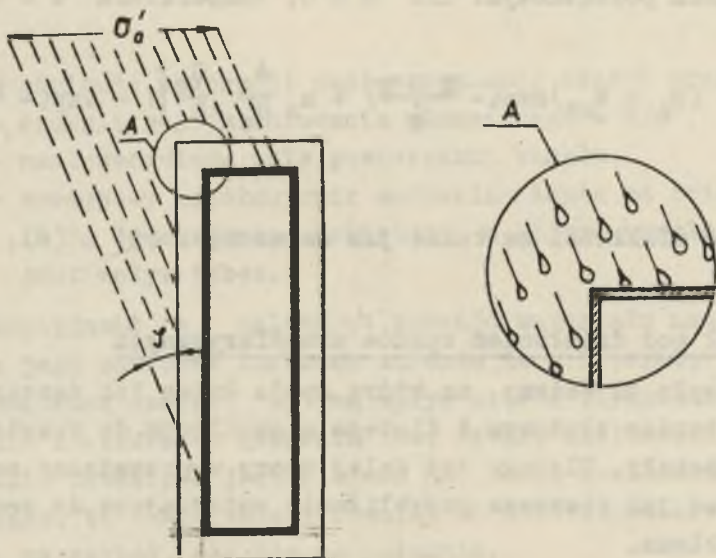
Odpyw ciepła od ściany, na którą spada śnieg lub deszcz jest procesem bardzo złożonym i dlatego niemożliwym do rozwiązania w sposób ścisły. Dlatego też dalej wzory wyprowadzane należy potraktować jak pierwsze przybliżenie zmierzające do rozwiązania problemu.

Przyjmuje się, że opady mają postać kropli wody w przypadku deszczu lub płatków śniegu, z którego tworzą się również krople po stopieniu się w zetknięciu ze ścianą kanału.

W tych warunkach istnieją dwie możliwości odparowania wody. Jeżeli ilość ciepła wnikającego od gazu do ścian kanału jest niezbyt wielka, to krople deszczu rozpiąną się na ścianie przewodu, zanim zdążą odparować i będą tworzyły warstwę filmu wody ściekającej częściowo na ściany boczne kanału a nawet poza kanał. Natomiast jeżeli ciepło w strumieniu jest

znaczne, to odparowanie nastąpi wcześniej zanim woda z pojedynczych kropeł połączy się w warstwę filmu.

Na rysunku 2 pokazano kanał, na który pada śnieg lub deszcz. Symbol  $O$  oznacza obwód całego przewodu,  $O'$  - zwilżoną część obwodu, tj. tę jego część, która pokryta jest filmem wody lub znajduje się pod kroplami (szczegół A na rys. 2), a  $O_0$  - szerokość poziomego pasa wyznaczona przez kierunki skrajnych kropeł padających jeszcze na kanał (rys. 2).



Rys. 2. Przekrój przez kanał zwilżony opadami atmosferycznymi

Bilans energii zwilżonej części obwodu o polu powierzchni  $O'dx$  ma postać

$$q \, d\dot{m} = \frac{\alpha_w}{1 + \frac{\alpha_w \delta}{\lambda}} (t - t') O' dx, \quad (8)$$

gdzie:

- $\alpha_w$  - współczynnik wnikania ciepła od gazu do ścian kanału,  
 $\delta/\lambda$  - opór cieplny ścianki,  
 $t' = \begin{cases} t_{ot} & \text{- temperatura opadów w przypadku deszczu,} \\ 0 \text{ } ^\circ\text{C} & \text{- temperatura topnienia śniegu, gdy } t_{ot} < 0 \text{ } ^\circ\text{C,} \end{cases}$   
 $\dot{m}$  - masa strumienia opadów,  
 $q$  - jednostkowe ciepło potrzebne do podgrzania i odparowania wody dla opadów deszczu lub ciepło potrzebne do przeprowadzenia śniegu w parę.

Masa  $d\dot{m}$  strumienia opadów określona jest wzorem

$$d\dot{m} = \rho d\dot{V} = \rho h O_0 dx. \quad (9)$$

Wielkość  $h$  jest przyrostem wysokości słupa wody powstałego z opadów w jednostce czasu.

Po wstawieniu równania (9) do (8) otrzymuje się związek pomiędzy obwodami  $O_0$  oraz  $O'$

$$\frac{O'}{O_0} = \frac{1 + \frac{\alpha_w \delta}{\lambda}}{\alpha_w (t - t')} \rho h g. \quad (10)$$

Jeżeli  $O'/O_0 \geq 1$ , to na ścianach kanału tworzy się film, który może ściekać ze ścian kanału.

Dla elementu całego kanału o obwodzie  $O$  i długości  $dx$  bilans energii uwzględniający wpływ opadów ma postać

$$- \dot{W} dt = k (t - t_{ot})(O - O') dx + \frac{\alpha_w}{1 + \frac{\alpha_w \delta}{\lambda}} (t - t') O' dx. \quad (11)$$

Całkowanie powyższego równania dla  $t' = t_{ot}$  jest proste i przy warunku początkowym  $x = 0, t = t_p$  prowadzi do wzoru

$$t - t_{ot} = (t_p - t_{ot}) \exp\left(-\frac{k_0 x}{\dot{w}}\right) + \frac{q h_0}{\alpha_e} \frac{0'}{0_0} \left[1 - \exp\left(-\frac{k_0 x}{\dot{w}}\right)\right]. \quad (12)$$

Podczas projektowania chłodni bardziej niekorzystne są przypadki, gdy temperatura gazu dopływającego do filtrów w ziemi jest niska. Dlatego też zastąpienie różnicy temperatur  $(t - t')$  wielkością  $(t - t_{ot})$ , przy  $t_{ot} < 0^\circ\text{C}$  prowadzi w obliczeniach do nieco za niskich temperatur na końcu przewodu. Scałkowanie równania (11) bez założenia tego jest również możliwe, jednak otrzymany wzór byłby skomplikowany i niepraktyczny.

### 3. Współczynnik przenikania ciepła przez przegrodę ożebrowaną

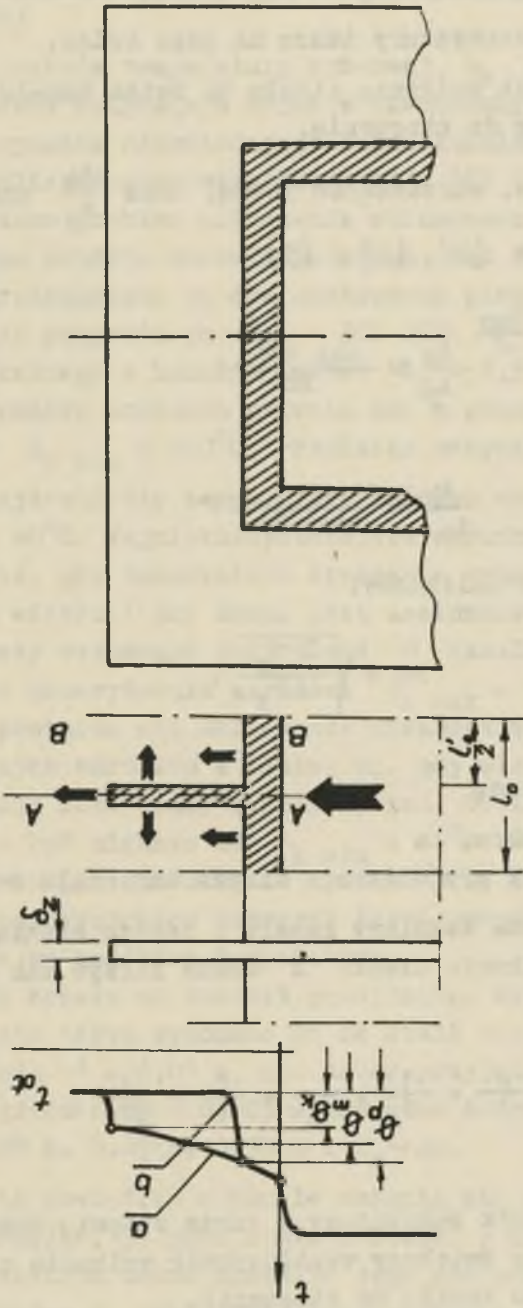
Na ilość ciepła odpływającego z powierzchni ożebrowanej składają się trzy elementy (rys. 3). Jest to ciepło wnikające do otoczenia: a) od ściany nieożebrowanej, b) od powierzchni bocznej żebra, c) od powierzchni czołowej żebra. Zapisując to w formie bilansu można po przekształceniu otrzymać wzór na zastępczy współczynnik wnikania ciepła [2]

$$\alpha_e = \alpha_z \left( \frac{A'}{A_0} + \frac{A_z}{A_0} \frac{A_m}{A_0} + \frac{A_{zc}}{A_0} \frac{A_k}{A_p} \right), \quad (13)$$

gdzie:

- $A_0$  - pole powierzchni ściany głównej (bez żeberek),
- $A'$  - pole powierzchni nieożebrowanego odcinka przewodu,
- $A_z$  - pole bocznej powierzchni żebra,
- $A_{zc}$  - pole czołowej powierzchni żebra,
- $A_p$  - nadwyżka temperatury żebra u jego nasady ponad temperaturę otoczenia równa nadwyżce temperatury przewodu nieożebrowanego,





Rys. 3. Wycinek ożebrowanego przewodu chłodni z zaznaczonym rozkładem temperatury: krzywa a odpowiada rozkładowi wzdłuż przekroju A-A, krzywa b odpowiada rozkładowi wzdłuż przekroju B-B

$A_m$  - średnia nadwyżka temperatury żebra,

$A_k$  - nadwyżka temperatury żebra na jego końcu,

$\alpha_z$  - współczynnik wnikania ciepła od ścian kanału lub od ścian żeber do otoczenia.

Ilorazy:  $\frac{A_m}{A_p}$  (tzw. skuteczność żebra) oraz  $\frac{A_k}{A_p}$  określone są za pomocą wzorów [2], [3] i [5]

$$\frac{A_m}{A_p} \approx \frac{\operatorname{tgh}(Ph)}{Ph} \quad (14)$$

oraz

$$\frac{A_k}{A_p} \approx \frac{1}{\cosh(Ph)} \quad (15)$$

Ilość  $Ph$  wynika z zależności

$$Ph = \sqrt{\frac{2 \alpha_z}{\lambda \delta_z}}, \quad (16)$$

gdzie:

$\delta_z$  - grubość żebra,

$h$  - wysokość żebra,

$\lambda$  - współczynnik przewodzenia ciepła materiału żebra.

Ze względu na duże rozmiary kanału i bardzo cienką ściankę współczynnik przenikania ciepła  $k$  można liczyć tak jak dla przegrody płaskiej

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_w} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{\alpha_w} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\varepsilon \alpha_z}, \quad (17)$$

gdzie:

$\varepsilon = \alpha_e / \alpha_z$  - mnożnik wskazujący w jakim stopniu zabudowanie żeber zwiększy współczynnik wnikania ciepła od ścian kanału do otoczenia.

#### 4. Przykłady wyznaczenia temperatury końcowej gazu w chłodni kanałowej

Sposób obliczenia temperatury końcowej  $t_k$  gazu zilustrowano na przykładzie dotyczącym kanałów ożebrowanych. Przeliczono również przypadek odpowiadający kilku kanałom nieożebrowanym. Podstawę obliczeń stanowiły wzory (3), (7) i (12).

Rozpatrzono problem chłodzenia strumienia zapyłonego powietrza. Łączna materia strumienia równa jest  $\dot{V}_u = 600\ 000 \frac{\text{um}^3}{\text{h}}$ . Ponieważ przewidziane są dwa ożebrowane przewody, przeto na każdy z nich przypada po  $\dot{V}_{ui} = 300\ 000 \frac{\text{um}^3}{\text{h}}$  powietrza. Pole przekroju każdego z kanałów wynosi  $A_p = 7,5 \text{ m}^2$ . Temperatura gazu na początku przewodu zmienia się w granicach od  $t_{p \text{ max}} = 180^\circ\text{C}$  do  $t_{p \text{ min}} = 130^\circ\text{C}$ . Przedział temperatur, w którym powinna znajdować się temperatura końcowa wynosi  $t_{k \text{ max}} = 130^\circ\text{C}$  i  $t_{k \text{ min}} = 40^\circ\text{C}$ . Najniekorzystniejsze warunki chłodzenia występują w lecie, gdy temperatura otoczenia wynosi  $t_{ot} = 32^\circ\text{C}$ , gdy nie ma wiatru i gdy kanał jest nasłoneczniony. Dla tych warunków należy wyznaczyć taki obwód  $O$  kanału, aby temperatura końcowa nie przewyższała wartości  $t_{k \text{ max}} = 130^\circ\text{C}$ . Znając już obwód  $O$  powtarza się obliczenia sprawdzające dla najniekorzystniejszych warunków w zimie, tj. gdy wieje silny wiatr i gdy występują duże opady atmosferyczne. Obliczona temperatura  $t_k$  powinna być większa od  $t_{k \text{ min}} = 40^\circ\text{C}$ . Zakłada się, że najintensywniejsze chłodzenie wystąpi przy temperaturze  $t_{ot} = -10^\circ\text{C}$ . W temperaturach niższych intensywność wiatrów i opadów maleje wraz ze spadkiem temperatury.

Przekrój kanału ma kształt prostokąta. Przewód, jak i zabudowane na nim żebra wykonane są ze stali  $\lambda = 50 \text{ W}/(\text{m deg})$ . Grubość przewodu  $\delta = 0,01 \text{ m}$ , dla żeber przyjęto: wysokość  $h = 0,20 \text{ m}$ , grubość  $\delta_z = 0,005 \text{ m}$ , rozstaw żeber  $l_o = 0,10 \text{ m}$ ,  $0,15 \text{ m}$ ,  $0,20 \text{ m}$ ,  $0,25 \text{ m}$ ,  $0,30 \text{ m}$  i  $l_o \sim \infty$ .

Cisnienie powietrza w kanale zmienia się nieznacznie tak, że można przyjąć, że jako stałe i równe  $p \approx 1 \text{ atm}$ . Znając parametry powietrza można określić jego gęstość i prędkość przepływu niezbędną do obliczenia współczynnika wnikania ciepła  $\alpha_w$ .

Współczynnik  $\alpha_w$  wyznacza się z empirycznej zależności odpowiadającej konwekcji wymuszonej [4]. Natomiast współczynnik wnikania ciepła od ścian przewodu do otoczenia należy liczyć z różnych wzorów w zależności od warunków zewnętrznych. Dla najniekorzystniejszych warunków w lecie, gdy nie ma wiatru  $\alpha_z$  wyznacza się z wzorów ustalonych dla konwekcji naturalnej, natomiast gdy wieje wiatr wg CAMMERERA [1] -  $\alpha_z$  powinno być liczone tak jak dla konwekcji wymuszonej.

Wpływ nasłonecznienia na temperaturę  $t_k$  uwzględnia ostatni człon występujący we wzorze (7). Podany tam iloczyn utworzony jest z elementów, dla których przyjęto znaczenia:  $a_s = 0,75$ ;  $O_r/O = 1/4$ ;  $\dot{e}_r = 945 \text{ W/m}^2$  [4].

Wyniki obliczeń przeprowadzono dla kanału o długości  $l = 300 \text{ m}$  i dla różnego rozstawu żeber pokazane zostały na rysunku 4. Z rysunku tego odczytuje się długości obwodów kanału odpowiadające temperaturze  $t_{k \text{ max}} = 130^\circ\text{C}$  i różnym wielkościom  $l_o$ .

Dla obwodów 0 wyznaczonych poprzednio należy powtórzyć obliczenia dla najniekorzystniejszych warunków w zimie, tj. gdy występują duże opady śniegu i gdy wieją silne wiatry mające prędkość  $w = 20 \text{ m/s}$ . Założona temperatura otoczenia  $t_{ot} = -10^\circ\text{C}$ . Przyjęto temperaturę powietrza na początku  $t_p \text{ min} = 130^\circ\text{C}$ .

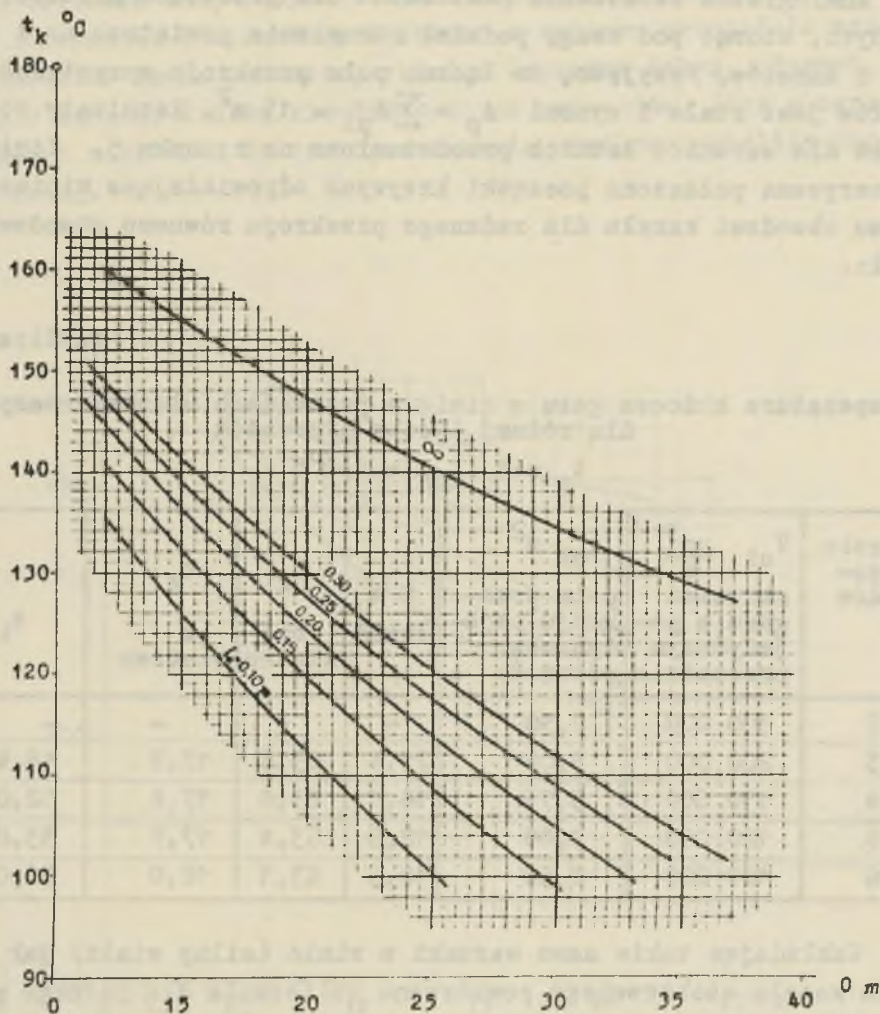
Wpływ opadów na temperaturę  $t_k$  uwzględnia ostatni człon we wzorze (12). Dla zamieszczonego tam iloczynu  $\rho \dot{h} q \frac{\theta_o}{O}$  przyjęto wielkości:  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  - gęstość wody;  $q = 2660 \text{ kJ/kg}$  - ciepło potrzebne do przeprowadzenia śniegu w parę wodną;  $\dot{h} = 0,08 \text{ m/ds}$  - szybkość opadów śniegu przeliczona na deszcz;  $O_o/O = 1/5$  - iloczyn obwodów.

Wyniki obliczeń uzyskane dla parametrów odpowiadających warunkom zimowym zebrano w tabelicy 1.

Tabelica 1

Temperatura końcowa w zimie dla różnego rozstawu żeber

$l_o \text{ m}$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
$O \text{ m}$	13,6	15,7	17,4	18,8	20
$t_k \text{ }^\circ\text{C}$	58,7	52,6	47,7	44,1	41,1



Rys. 4. Temperatura końcowa gazu  $t_k$  w zależności od długości obwodu  $l$  kanału

Dwa równoległe przewody, łączna materia strumienia gazu  $\dot{V}_u = 600\ 000\ \text{um}^3/\text{h}$ , temperatura gazu na dopływie do kanału  $t_{p\text{max}} = 180^{\circ}\text{C}$ , łączne pole przekroju przewodów  $A_p = 15\ \text{m}^2$ , temperatura otoczenia  $t_{ot} = 32^{\circ}\text{C}$ . Kanał jest ożebrowany: wysokość żeber  $h = 0,2\ \text{m}$ ; rozstaw żeber  $l_0 = 0,10\ \text{m}$ ;  $l_0 = 0,15\ \text{m}$ ;  $l_0 = 0,20\ \text{m}$ ;  $l_0 = 0,25\ \text{m}$ ;  $l_0 = 0,30\ \text{m}$ ;  $l_0 \sim \infty$  (odpowiada kanałowi nieożebrowanemu), kanał jest nasłoneczniony

Analogiczne obliczenia powtórzono dla przewodów nieożebrowanych, biorąc pod uwagę podział strumienia powietrza na  $i = 2$  do 6 kanałów. Przyjęto, że łączne pole przekroju wszystkich kanałów jest stałe i wynosi  $A_p = \sum A_{pi} = 15 \text{ m}^2$ . Rezultaty obliczeń dla warunków letnich przedstawiono na rysunku 5. Linia przerywaną połączono początki krzywych odpowiadające minimalnemu obwodowi kanału dla zadanego przekroju równemu obwodowi koła.

Tablica 2

Temperatura końcowa gazu w zimie w przewodach nieożebrowanych dla różnej liczby przewodów

$$t_p = t_{p \text{ min}} = 130^\circ\text{C}$$

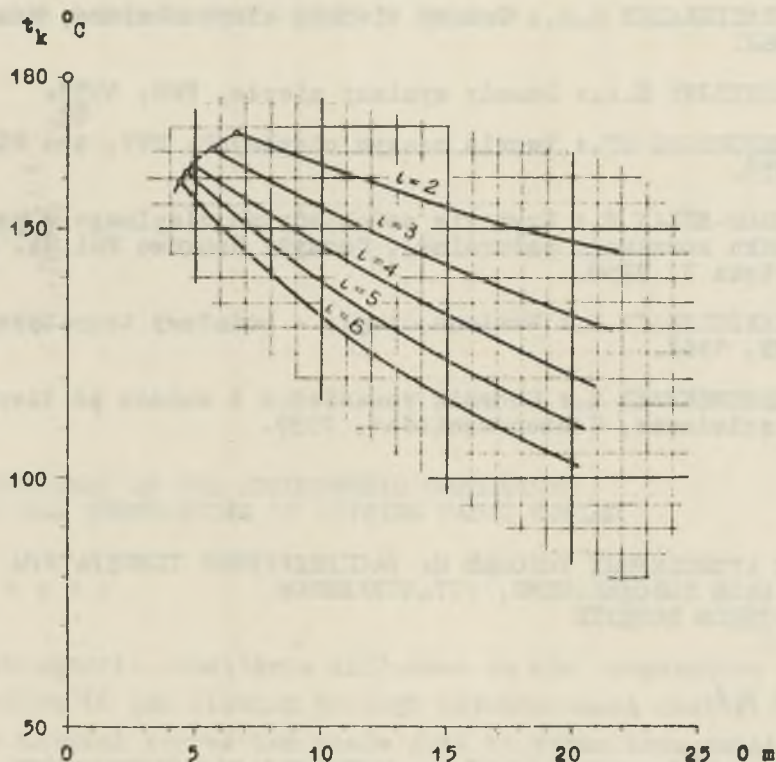
Liczba przewodów	$\dot{V}_{ui} \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ strumień gazu w pojedynczym przewodzie	$A_{pi} \text{ m}^2$ pole przekroju pojedynczego przewodu	0 m obwód	$t_k$ bez wiatru	$t_k$ z wiatrem	$t_k$
2	300 000	7,50	-	-	-	-
3	200 000	5,00	21,4	63,8	17,5	48,4
4	150 000	3,75	16,1	63,6	17,6	52,0
5	120 000	3,00	12,9	63,4	17,7	53,8
6	100 000	2,50	10,6	63,1	18,0	56,0

Zakładając takie same warunki w zimie (silny wiatr) jak dla kanału ożebrowanego powtórzono obliczenia dla jednego przewodu nieożebrowanego. Dla pozostałych  $(i-1)$  kanałów obliczono temperaturę  $t_k$  dla  $t_{ot} = -10^\circ\text{C}$  i opadów śniegu, lecz przy konwekcji swobodnej. Postępowanie takie uzasadnione jest wzajemnym zasłanianiem się przewodów od wiatru. Temperaturę końcową gazu  $t_k$  liczono jako średnią wg wzoru

$$t_k = \frac{t_k \text{ (z wiatrem)} + (i-1) t_k \text{ (bez wiatru)}}{i},$$

gdzie:  $i$  - ilość kanałów. Wyniki obliczeń zawiera tablica 2.

Z obliczeń dotyczących rozpatrywanego przykładu wynika, że dla utrzymania temperatury końcowej w zadanym przedziale można zmieniać pewne parametry chłodni (rozstaw żeber, długość obwodu kanału, liczbę nieożebrowanych przewodów) lecz w ograniczonym zakresie. Dalsze ograniczenia wynikną z analizy ekonomicznej.



Rys. 5. Temperatura końcowa gazu  $t_k$  w zależności od długości obwodu pojedynczego kanału dla różnej liczby kanałów  $i$ . Łączna materia gazu przepływającego  $\dot{V}_u = \sum \dot{V}_{ui} = 600\ 000\ \text{um}^3/\text{h}$ , temperatura gazu na dopływie do kanału  $t_{pmax} = 180^\circ\text{C}$ , łączne pole przekroju przewodów  $A_p = \sum A_{pi} = 7,5\ \text{m}^2$ , temperatura otoczenia  $t_{ot} = 32^\circ\text{C}$ , przewody są nieożebrowane i nasłonecznione

## LITERATURA

- [1] CAMMERER J.: Izolacje ciepłochronne w przemyśle, Wyd, Arkady, 1967.
- [2] DANIŁOWA G., N., FIŁATKIN W. N., CZERNAJA R. G., SZCZERBÓW M. G.: Zbiór zadań i obliczeń z przepływu ciepła, WNT, 1965.
- [3] KUTATIEŁADZE S. S.: Osnovy teorii tieploobmiena, Maszgiz 1962.
- [4] MICHIEJEW M. A.: Zasady wymiany ciepła, PWN, 1953.
- [5] OCHĘDUSZKO ST.: Teoria maszyn cieplnych, PWT, tom III, 1955.
- [6] OKOŁO-KUŁAK W.: Kryteria podobieństwa cieplnego w przypadku konwekcji naturalnej, Zeszyty Naukowe Pol. Sl. Energetyka 3, 1958.
- [7] STANISZEWSKI B.: Wymiana ciepła - podstawy teoretyczne, PWN, 1963.
- [8] WOSKRESENSKI K.: Sbornik rasczietow i zadacz po tieplo-pieriedacze, Gostenergoizdat, 1959.

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ  
В КАНАЛЬНОМ ХОЛОДИЛЬНИКЕ, УСТАНОВЛЕННОМ  
НА СВОБОДНОМ ВОЗДУХЕ

## Р е з ю м е

Влияние атмосферных условий на распределение температуры в канальном холодильнике газа, установленного на свободном воздухе зависит от того, какому действию подвергается холодильник, т.е. кроме естественной конвекции необходимо дополнительно учесть влияние солнца, дождя или ветра. В работе рассмотрено только влияние солнца и дождя, так как влияние ветра рассматривается в литературе [1]. Проведен анализ случаев, когда канал с ребрами или без ребер. В заключении пересчитана проблема как пример такого подбора параметров канала, для которого мож-



но получить требуемые температуры газа в конце канала как в летних условиях: когда температура окружающей среды высока и когда канал подвергается действию солнечных лучей, так и в зимнее время, когда падает снег при сильном действии ветра. В рассуждениях принималась во внимание различная длина канала при заданном его поперечном сечении (диаметре), различная расстановка ребер, а также возможность применения несколько проводков без ребер вместо одного с ребрами.

#### THE INFLUENCE OF THE ATMOSPHERIC CONDITIONS ON THE GAS TEMPERATURE IN OUTSIDE CANAL COOLER

#### S u m m a r y

The atmospheric conditions influence on the temperature distribution in gas flowing through outside canal cooler. Apart of the natural convection there must be taken into consideration also the influence of raining, wind blowing and sun radiation. In this paper only the influence of the sun radiation and raining is considered because the influence of wind blowing is discussed in literature [1]. The canal with fins and without the fins is analysed.

The selection of the canal parameters for obtaining of the required gas temperature at the outlet of the canal is illustrated by the numerical example. The summer conditions with the high surrounding temperature and the winter conditions

with snowing and strong winds has been considered. The different perimeters of the canals with equal cross section and different fins spacing has been examined. The possibility of the application of a few canals without fins instead of one with fins is discussed too.