

Symulacja czasu wychładzania powietrza w przewodzie wentylacyjnym

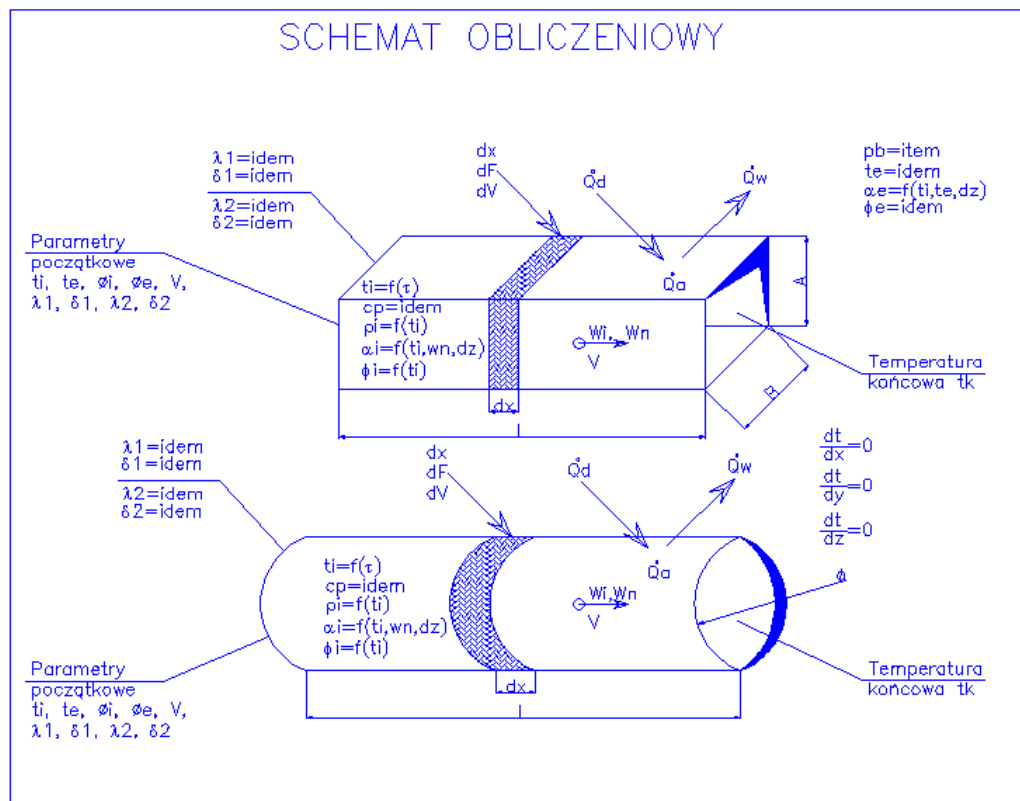
1) Do czego służy program:

Program służy do określenia szybkości wychładzania, lub ogrzewania powietrza wewnątrz przewodu wentylacyjnego przy założonych warunkach brzegowych. Program pozwala np.: na szybkie obliczenie i dobór odpowiedniej i optymalnej grubości izolacji tak aby na wylocie z przewodu wentylacyjnego powietrze miało odpowiednią temperaturę t_k , lub na sprawdzenie jaka będzie temperatura na wylocie z przewodu wentylacyjnego, który znajduje się w otoczeniu powietrza o innej temperaturze.

Zagadnienie doboru grubości izolacji jest szczególnie ważne podczas projektowania przewodów wentylacyjnych będących na dachu, ponieważ te przewody bezpośrednio kontaktują się z powietrzem zewnętrznym i przez to mogą silnie wpływać na moc nagrzewnicy centrali wentylacyjnej. Program podaje również niezbędną moc, o którą należy powiększyć nagrzewnicę (lub chłodnicę) ze względu na wychłodzenie (lub ogrzanie).

2) Algorytm symulacji:

Program rozwiązuje bilansowe równanie różniczkowe ciepła dopływającego i odpływającego z przyjętego układu (bilans energii) pokazanego na poniższym rysunku:



równanie to można zapisać:

$$\frac{dQ}{d\tau} = \dot{Q}_d(\tau) - \dot{Q}_w(\tau)$$

gdzie:

dQ – Różniczkowa zmiana ciepła wewnątrz przewodu wentylacyjnego powodująca zmianę temperatury powietrza (akumulacja ciepła powodująca zmianę temperatury)

$d\tau$ – Różniczkowa zmiana czasu (krok czasowy)

$\dot{Q}_d(\tau)$ – Ciepło doprowadzone do układu w funkcji czasu

$\dot{Q}_w(\tau)$ – Ciepło wyprowadzone z układu w funkcji czasu

ponieważ brak jest źródeł ciepła więc $\dot{Q}_d = 0$

Równanie przyjmuje postać:

$$\frac{dQ}{d\tau} = -\dot{Q}_w(\tau)$$

$$dQ = -\dot{Q}_w(\tau) \cdot d\tau$$

Z drugiej strony:

$$dQ = \rho(t(\tau)) \cdot dV \cdot c_p \cdot dt$$

gdzie:

$\rho(t(\tau))$ – gęstość powietrza w przewodzie wentylacyjnym w funkcji temperatury powietrza

dV – Objętość rozpatrywanego elementu

c_p – Ciepło właściwe powietrza $c_p = \text{idem} = 1005 \text{ J/kgK}$

dt – Różniczkowa zmiana temperatury powietrza

Możemy więc zapisać:

$$-\dot{Q}_w(\tau) \cdot d\tau = \rho(t(\tau)) \cdot dV \cdot c_p \cdot dt$$

$$dt = \frac{-\dot{Q}_w(\tau) \cdot d\tau}{\rho(t(\tau)) \cdot dV \cdot c_p}$$

$$\dot{Q}_w(\tau) = U \cdot dF \cdot (t_i(\tau) - t_e)$$

czyli zmiana temperatury w kanale wyniesie:

$$dt = \frac{-U_i \cdot dF \cdot (t_i(\tau) - t_e) \cdot d\tau}{\rho(t_i(\tau)) \cdot dV \cdot c_p}$$

zaś temperatura w kanale:

$$t + dt = \frac{\rho(t_i(\tau)) \cdot dV \cdot c_p \cdot t_i(\tau) - U_i \cdot dF \cdot (t_i(\tau) - t_e) \cdot d\tau}{\rho(t_i(\tau)) \cdot dV \cdot c_p}$$

współczynniki wnikania i przewodzenia ciepła określone są z zależności:

$$\alpha_i = \left[4,13 + 0,23 \frac{t_i(\tau)}{100} - 0,0077 \left(\frac{t_i(\tau)}{100} \right)^2 \right] \cdot \frac{w_N^{0,75}}{d_z^{0,25}} \text{ -konwekcja wymuszona}$$

$$\alpha_e = 5,0 \cdot \sqrt{\frac{t_i(\tau) - t_e}{T_e \cdot d_z}} \text{ - konwekcja swobodna}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_e}} \text{ - przewody prostokątne}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{\Pi \cdot \alpha_i \cdot (d_z - \delta_1)} + \frac{\ln \frac{d_z}{d_z - \delta_1}}{2 \cdot \Pi \cdot \lambda_1} + \frac{\ln \frac{d_z + \delta_2}{d_z}}{2 \cdot \Pi \cdot \lambda_2} + \frac{1}{\Pi \cdot \alpha_e \cdot (d_z + \delta_2)}} \text{ - przewody okrągłe}$$

Otrzymane w ten sposób równania stanowią podstawę programu symulacyjnego.

Algorytm przedstawia się następująco:

- Dla warunków brzegowych, w pierwszym kroku czasowym ($\tau = 0$; $t_i = t_{i0}$) obliczana jest strata ciepła $\dot{Q}_w(\tau)$ elementarnego wycinka dV dla różniczkowego kroku czasowego $d\tau$ i odejmowana od ciepła wewnętrznego $\dot{Q}_a(\tau)$.
- W następnych krokach czasowych $\tau + d\tau$ obliczana jest temperatura t_i wewnątrz układu, straty ciepła itd. Aż do zakończenia symulacji tzn. przebycia drogi L przez rozpatrywany wycinek dV wg. poniższego algorytmu:

$$t_{i(n)} = \frac{\rho(t(\tau)) \cdot dV \cdot cp \cdot t_{i(n-1)} - U_i \cdot dF \cdot (t_{i(n-1)} - t_e) \cdot d\tau}{\rho(t_{i(n-1)}) \cdot dV \cdot cp}$$
$$t_{i(n+1)} = \frac{\rho(t(\tau)) \cdot dV \cdot cp \cdot t_{i(n)} - U_i \cdot dF \cdot (t_{i(n)} - t_e) \cdot d\tau}{\rho(t_{i(n)}) \cdot dV \cdot cp}$$

3) Założenia poczynione w symulacji:

- 3.1. Brak gradientu temperatury powietrza w kanale wentylacyjnym (w całym kanale jest wyrównana temperatura)

$$\frac{dt}{dx} = 0; \frac{dt}{dy} = 0; \frac{dt}{dz} = 0;$$

- 3.2. W kanale panuje ruch burzliwy ($Re > 2320$)
- 3.3. Na zewnątrz kanału panują warunki konwekcji swobodnej.
- 3.4. W obliczeniach strat ciepła założono, że kubatura pomieszczenia w którym znajduje się kanał jest bardzo duża, co pozwala na założenie stałej temperatury otaczającego zasobnik powietrza ($t_e = \text{const}$).
- 3.5. Program nie uwzględnia strat ciepła przez promieniowanie.
- 3.6. Współczynniki konwekcyjne (konwekcja swobodna i konwekcja wymuszona) obliczane są za pomocą równań Schack'a)
- 3.7. Geometria przewodu spełnia nierówność (wymóg równia Schack'a dla konwekcji wymuszonej):

$$L \geq 100d$$

gdzie:

L – długość przewodu

d – średnica/średnica zastępcza przewodu

4) Symbolika zastosowana w programie:

t_i – temperatura powietrza w przewodzie wentylacyjnym

t_e – temperatura powietrza otaczającego przewód wentylacyjny

ϕ_i – wilgotność względna powietrza w przewodzie wentylacyjnym

ϕ_e – wilgotność względna powietrza otaczającego przewód wentylacyjny

p_b – ciśnienie atmosferyczne powietrza

V – objętościowe natężenie przepływu powietrza w przewodzie

cp – ciepło właściwe powietrza $cp=idem=1005$ J/kgK

λ_1 – współczynnik przewodzenia ciepła materiału ścianki przewodu wentylacyjnego

δ_1 – grubość ścianki przewodu wentylacyjnego

λ_2 – współczynnik przewodzenia ciepła materiału izolacji przewodu wentylacyjnego

δ_2 – grubość izolacji przewodu wentylacyjnego

L – długość przewodu wentylacyjnego

ϕ – średnica przewodu wentylacyjnego okrągłego

A – długość boku A przewodu wentylacyjnego

B – długość boku B przewodu wentylacyjnego

$d\tau$ – długość elementarnego kroku czasowego

τ_c – całkowity czas trwania symulacji

w_i – prędkość przepływu powietrza w przewodzie wentylacyjnym

t_k – temperatura końcowa powietrza po przebyciu długości przewodu L

Re – liczba Reynoldsa charakteryzująca rodzaj przepływu płynu

ρ_i, ρ_e – gęstość powietrza w kanale (i) i zewnętrznego (e)

η_i, η_e – lepkość kinematyczna powietrza w kanale (i) i zewnętrznego (e)

α_i, α_e – współczynnik wnikania ciepła w kanale (i) i zewnętrznego (e)

α_i, α_e – współczynnik konwekcji ciepła

ΔQ – Strata ciepła powietrza po przebyciu długości L

U – Współczynnik przenikania ciepła